

-
-
-
-
-

IF-705 – Automação Inteligente

Sistemas de Controle - Fundamentos

Aluizio Fausto Ribeiro Araújo
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática - CIn
Departamento de Sistemas da Computação
aluizioa@cin.ufpe.br



Sumário

- Introdução
- Distinção entre Controle Clássico e Controle Inteligente
- Métodos de Controle Clássico
- Métodos de Controle Inteligente
- Controle Autônomo

Introdução

- Um projeto de sistema de controle convencional realiza suas especificações em termos de
 - Capacidade para rejeição de perturbações;
 - Sensibilidade à variação de parâmetros;
 - Estabilidade;
 - Tempo de subida;
 - Valor de sobresinal (*overshoot*);
 - Tempo de acomodação (*settling time*);
 - Erro de estado estacionário.

Introdução

- Projeto do controlador considera algumas possibilidades
 - Tipos de controlador:
 - Proporcional-integrativo-derivativo (PID), PI ou PD.
 - Estratégias de controle possíveis:
 - Controle clássico, controle ótimo, controle robusto, controle adaptativo, controle estocástico.
 - Controle linear ou não-linear.
 - Sistemas contínuos ou discretos no tempo.

Introdução

- Métodos para avaliação de desempenho de um sistema de controle:
 - Análise do modelo matemático;
 - Análise baseada em simulação;
 - Investigações experimentais.
- Computação tem influenciado a área de controle provendo estratégias alternativas para a funcionalidade e implementação de controladores para sistemas dinâmicos.

Introdução

- Controle inteligente pode ser entendido como área em que algoritmos de controle são desenvolvidos para emular algumas características de sistemas biológicos inteligentes.
 - Exemplos: sistemas especialistas para modelos de controladores, sistemas nebulosos que empregam regras para representação de conhecimento e inferência.
- Os controladores inteligentes são construídos com base na metodologia em sistemas de controle:
 - Modelagem matemática a partir de princípios ou dados (e.g., controle neural de sistemas não-lineares);
 - Heurística (e.g., controle nebuloso direto).

Introdução

- Modelagem e controle adaptativo empregam cada vez mais modelos de computação inteligente;
- Aplicações em Controle Inteligente (CI) requerem algoritmos capazes de:
 - *Operar* em ambiente mal-definido e variante no tempo;
 - *Adaptar-se* a mudanças na dinâmica da planta ou do processo bem como ao efeitos do ambiente;
 - *Aprender* informações relevantes do meio-ambiente;
 - *Adicionar* poucas restrições à dinâmica da Planta.

Introdução

- O aprendizado humano possui as características desejadas para lidar com as capacidades desejadas. O desafio é dotar as máquinas com tais características.
- A capacidade de adaptação autônoma da computação inteligente oferece à área de Engenharia de Controle (EC):
 - Melhoria no desempenho de sistemas de controle devido à sua capacidade de adaptação;
 - Aumento da qualidade da solução;
 - Possibilidade de autonomia para os sistemas;
 - Diminuição dos custos de projeto e operacionais.

Controle Clássico X Inteligente

- Controle Clássico:
 - Modelagem: Abordagem matemática no qual o sistema é rigidamente modelado;
 - Controle: Software realiza o que foi pré-determinado, a inteligência vem do projetista.
- Controle Inteligente:
 - Modelagem: Baseada em dados no qual o sistema é modelado com flexibilidade;
 - Controle: Software apresenta capacidade de adaptação e aprendizagem, a inteligência também está no software.

Controle Clássico X Inteligente

- Exemplos de Controle Clássico.
 - Controle PID;
 - Controle Ótimo;
 - Controle Discreto;
 - Controle Híbrido.
- Exemplos de Controle Inteligente:
 - Controle Nebuloso;
 - Controle Neural;
 - Controle Evolucionário.

Controle Clássico

- Controlador PID:
 - Controle proporcional: Realiza ajuste de ganho atuando sobre o sinal de erro;
 - Controle integral: Atua no ajuste da acuracidade do sistema, respondendo a perturbações;
 - Controle derivativo: Atua no ajuste do amortecimento do sistema.

Controle Clássico

- Controlador PID:
 - Saída no tempo:

$$m(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

- Ganho: $G_C(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s$

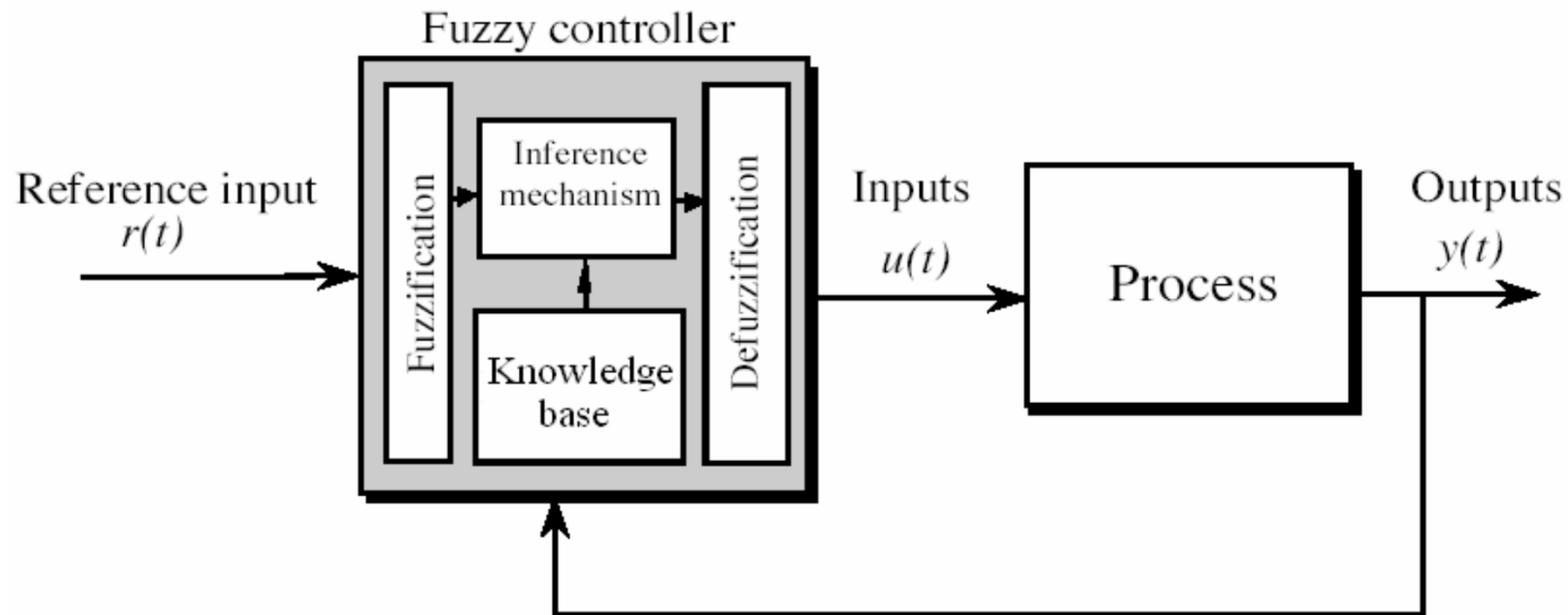
Controle Inteligente

- Pode ser entendido como uma estratégia de controle que emprega uma ou mais abordagens de inteligência computacional;
- O controle inteligente deve emular características de organismos vivos tais como adaptação e aprendizado, planejamento frente à incertezas e capacidade de lidar com uma grande quantidade de dados de modo.
 - Definido em IEEE Control Systems Society, dezembro de 1993, “Final Report: Task Force on Intelligent Control”.

Controle Nebuloso

- Um controlador nebuloso ou difuso (*fuzzy*) pode ser projetado visando emular o processo dedutivo humano: Inferências sucessivas de conclusões baseadas em conhecimento.
- O controlador nebuloso é formado por 4 componentes:
 - Base de regras: Conjunto de regras IF-THEN quantificadas por lógica nebulosa representando conhecimento especialista
 - Mecanismo de inferência nebuloso: Determina as regras relevantes para cada situação e as aciona.
 - Interfaces de fuzzyficação e defuzzyficação: converte variáveis numéricas em fuzzyficadas e desconverte-as.

Controle Nebuloso

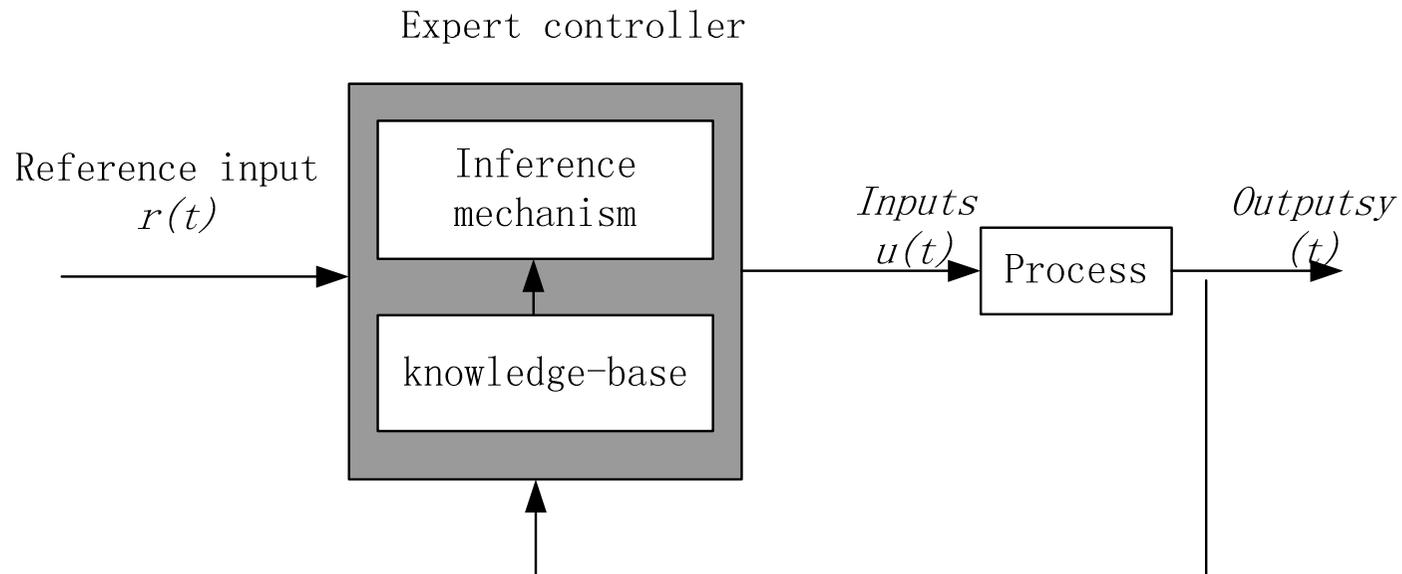


Sistema de controle nebuloso.

Sistemas Especialistas e de Planejamento

- Controladores especialistas atuam como supervisores de um processo ou sistema. Tipicamente eles usam uma base de conhecimento e um motor de inferência para decidir o comando a ser enviado para a planta ou sistema.
 - Sistema baseados em regras ou outra representação do conhecimento, e.g., frames, redes semânticas.
- O mecanismo de inferência pode empregar estratégias e casamento de regras e inferência como refração ou recência, impedindo ou priorizando novo disparo de regra disparada recentemente.

Sistemas Especialistas e de Planejamento

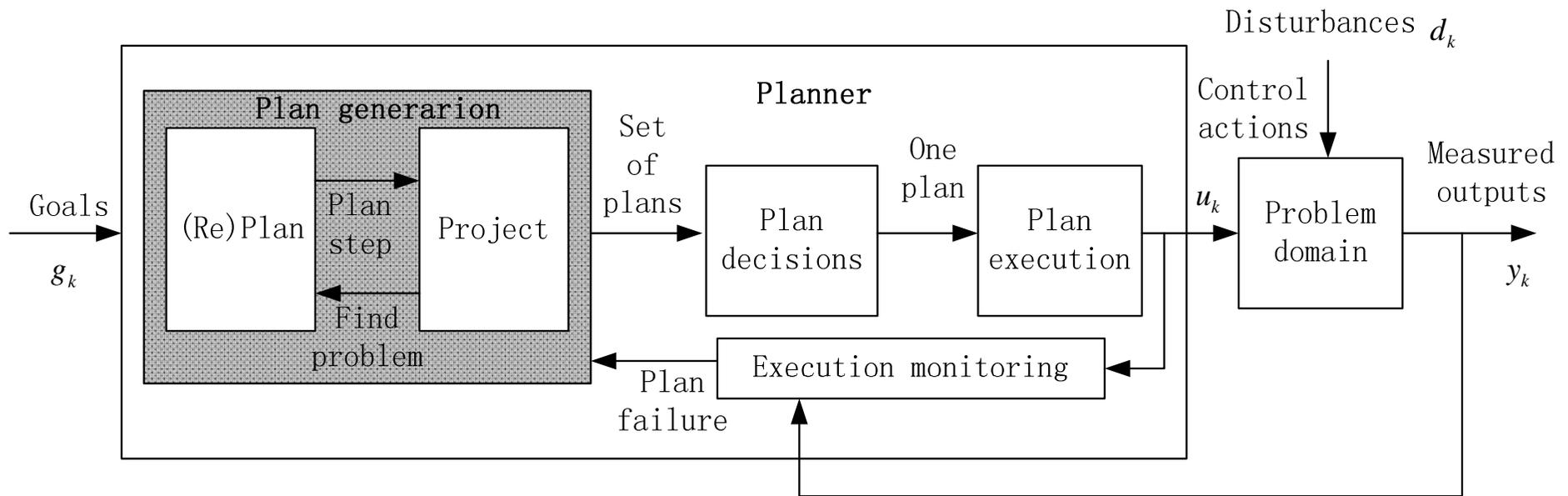


Sistema de Controle Especialista.

Sistemas Especialistas e de Planejamento

- Os sistemas planejadores emulam como os especialistas planejam.
 - Por exemplo, usado em planejamento de caminho e controle de alto nível em tarefas de controle para robótica.
- O planejador monitora as saídas e objetivos medidos e gera ações de controle para neutralizar efeitos das perturbações:
 - Planejador executa a geração de conjunto de planos;
 - Escolha de melhor plano a ser aplicado no momento;
 - Execução do plano cujo desempenho é monitorado e avaliado para gerar outro conjunto de planos em caso de falha do plano em atingir seus objetivos.

Sistemas Especialistas e de Planejamento



Sistema de planejamento de malha fechada.

Controle Neural

- Controle neural com aprendizagem preditiva avalia os efeitos das suas ações para futuros instantes de tempo. Escolhe-se a partir das avaliações presentes e futuras, a atual ação ótima de controle que será aplicada à planta.
- Um elemento de aprendizagem de controle deve permitir que se aprenda a estratégia de controle preditivo ótimo pelo controlador.
 - A otimização leva em conta o conceito de controle preditivo.

Controle Neural

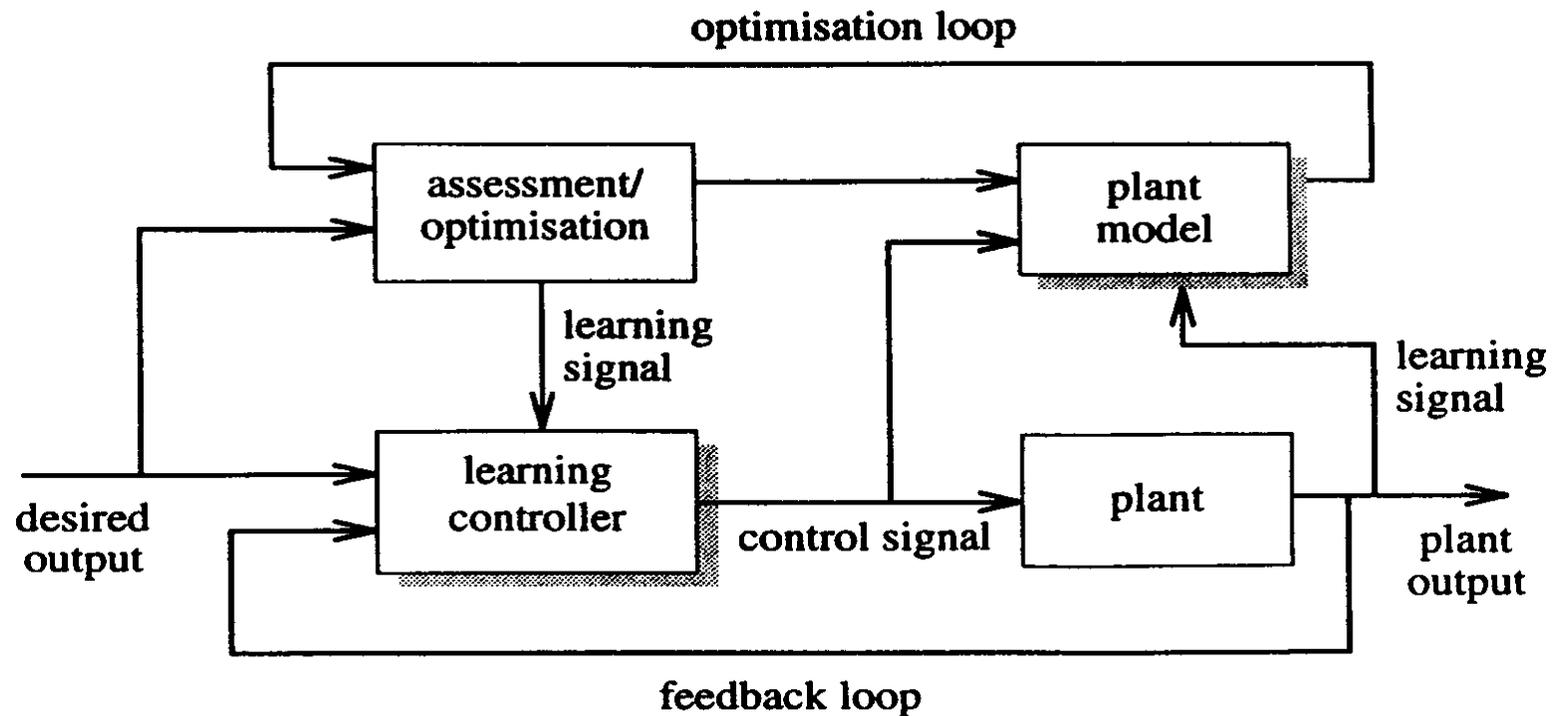


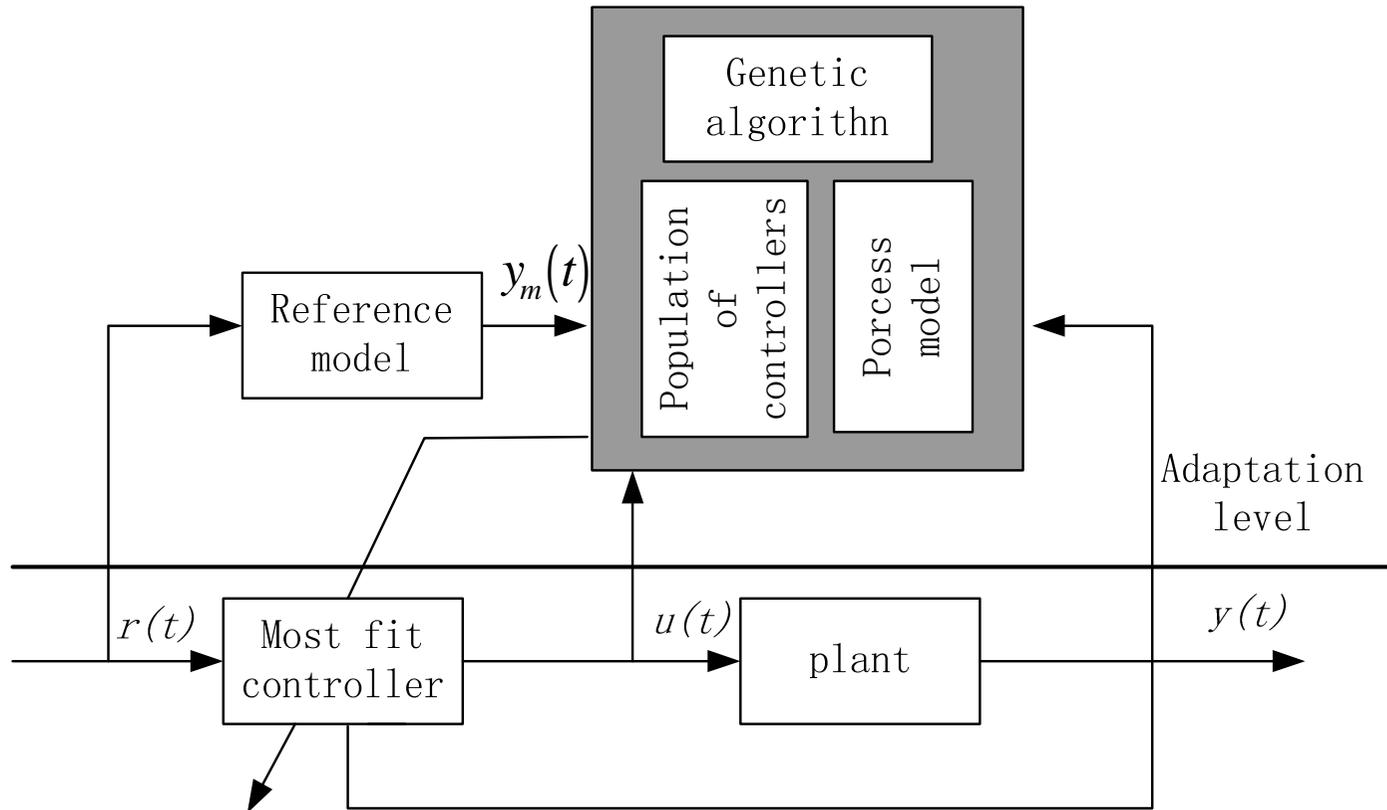
Figure 2.3 A learning predictive control architecture.

Controlador preditivo neural

Controle Evolucionário

- Algoritmos evolucionários são empregados para ajustar ou determinar as equações do controlador.
- Controlador genético adaptativo de referência de modelo (GMRAC) emprega um modelo de referência para caracterizar o desempenho desejado.
- O modelo do controlador vai sendo procurado através do processo evolucionário onde cada indivíduo é uma configuração diferente deste controlador.
- O controlador que é o mais adequado na população a cada passo de tempo é usado para controlar o sistema.

Controle Evolucionário



Controlador adaptativo genético de referência de modelo.

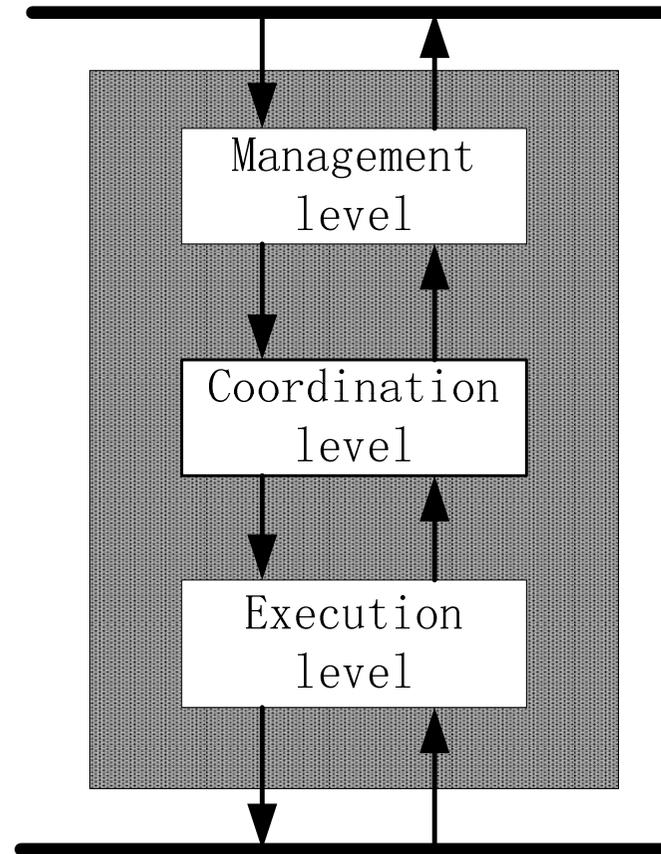
Controle Autônomo

-
-
- Arquitetura funcional de controlador autônomo inteligente:
 - Interface para o processo que envolve a detecção (e.g., tecnologia convencional de detecção, visão, tato, olfato) e a atuação (e.g., via hidráulica, robótica, motores);
 - Interface para os seres humanos (e.g., um motorista, piloto, tripulação) e outros sistemas.
 - Nível de execução (NE): processa sinais numéricos e algoritmos de controle (e.g., PID, ótimo, identificação);
 - Nível de coordenação (NC): realiza sintonia, programação, supervisão redesenho de algoritmos do NE e outras funções;
 - Nível de gestão (NG): Supervisiona funções de níveis inferiores gerencia interface com humanos e outros sistemas.

Controle Autônomo

Controlador autônomo inteligente

Humans and other subsystems



Process



Referências

- IEEE Task force on Intelligent Control:
<http://www3.nd.edu/~pantsakl/Publications/162-RTFIC.pdf>
- Passino, K. M. (2010) Intelligent Control. In *The Control Systems Handbook*, Second Edition: Control System Advanced Methods. Edited by William S. Levine, 54-1 - 54-12, CRC Press.