

167851 - Identificação de Sistemas Dinâmicos

Experimento 1 - Identificação de Processo Não-Linear de 4ª Ordem

Objetivo

Verificar através da simulação de um processo não linear, os procedimentos típicos da identificação em torno de um ponto de operação. O processo de nível de líquido não-linear, Fig. 1, disponível no LARA é modelado (Simulink) com saturação da entrada e dos níveis e fluxo turbulento. As válvulas que conectam os tanques são ajustáveis e os furos que retornam a água para o reservatório são fixos. Considera-se que a identificação seja um processo heurístico, uma “arte”, uma vez que o modelo depende de uma série de escolhas que influenciam o modelo resultante. A identificação em dois pontos de operação (linearização) deverá comparar modelos escalares típicos no domínio do tempo.

1. Introdução

A identificação de sistemas dinâmicos visa obter, a partir de dados experimentais, um modelo matemático que relacione as variáveis de entrada, as perturbação e saída de um processo. A obtenção de sinais de um processo real que permitam uma boa identificação não é, em geral, um procedimento direto. A escolha adequada da taxa de amostragem, da faixa de frequências de excitação, da duração do experimento e do ponto de operação são imprescindíveis. Sinais suficientemente ricos em informações do processo permitem que algoritmos de identificação obtenham modelos que descrevem com boa aproximação o processo real. Observar que identificação em ponto de operação fornece modelos de pequenos sinais. O experimento 1 utilizará um modelo não-linear simulado, que permite a operação AFAC (simulação “As Fast As Can”).

2. O Processo

O processo de nível de líquidos de 4ª ordem do LARA será considerado neste experimento como um processo SISO, com entrada de líquido no primeiro tanque e tendo por saída o nível do tanque 4, h_4 , ver figura 2.

Fig. 1 – Processo de nível de líquido 4ª ordem - LARA/UnB.

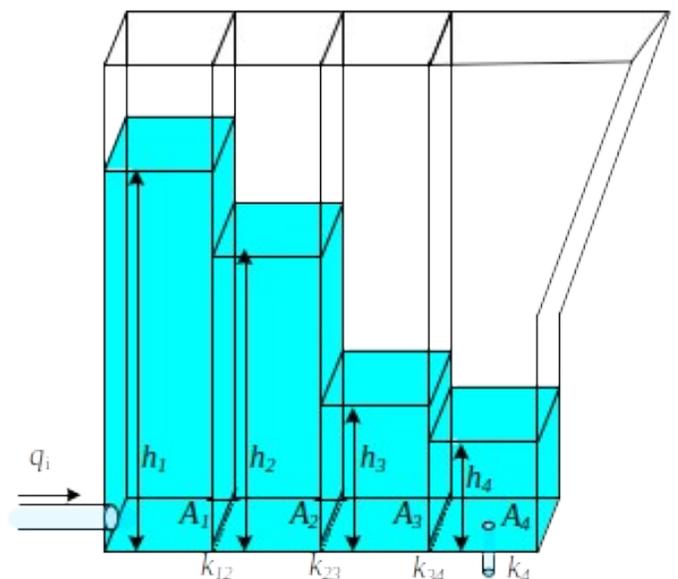


Fig. 2 – Esquema do processo de nível de líquidos de 4ª ordem.

O arquivo *liq4MA.slx* simula o processo nível de líquido de 4ª ordem, ver figura 3. Os parâmetros do processo, seção transversal dos tanques, A_i , constantes das válvulas, k_i , k_{ij} , níveis máximo, h_{\max} e vazão máxima e mínima, q_{\max} , q_{\min} , estão definidos em *para4nl.m*. Os índices i e j , variam de 1 a 4, conforme o caso.

3. Simulação em malha aberta

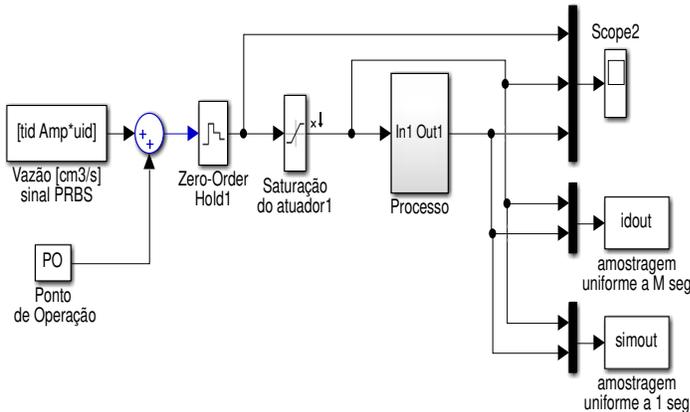


Fig. 3 – Simulação do processo de nível de líquido 4ª ordem.

O arquivo de simulação do processo em malha aberta pode ser vista nas Figuras 3 e 4.

Alguns parâmetros que afetam a identificação:

- Taxa de amostragem
- Número de amostras
- Amplitude do Sinal
- Banda do sinal PRBS
- Nível de Ruído
- Ponto de Operação

Fig. 4 – Processo de nível de líquidos de 4ª ordem.

4. Algumas heurísticas utilizadas em identificação.

- Taxa de amostragem, T_a : Uma onda quadrada, com período $2 * T_a$, deve produzir variações “visíveis” na saída.
- Identificação do Ganho: As “partes lentas” do sinal PRBS devem levar o processo ao estado estacionário.
- Amplitude do sinal de excitação: A relação Sinal/Ruído e o ponto de operação limitam a amplitude de pequenos sinais.
- Pequenos sinais: Um sinal de entrada pode ser considerado de “pequeno sinal” se não houver diferença significativa entre modelos “próximos”

5. Procedimento

Os parâmetros do processo, para uma configuração típica das válvulas, estão disponíveis em `para4nl.m`. Adote o valor de k_4 como o último número da matrícula (se “0”, adote $k_4 = 10$).

- 1) Identificar em dois pontos de operação com excursão de pequenos sinais. Verifique que variações em torno do ponto de operação (\pm Amp) possam ser consideradas de pequenos sinais (modelo linear), escolha dois pontos de operação: “baixo” e “alto”. Tanto o ponto de operação “baixo” como ponto de operação o “alto” devem evitar a saturação do atuador.
- 2) Identificar com e sem ruído. A cada variável de estado do processo (h_1, h_2, h_3 e h_4) acrescentar ruído aleatório gaussiano (média 0, variância conforme arquivo). Acrescentar também ruído de medida ao sinal de saída. Para qual *NivRuido* há prejuízo “visível para a identificação”?
- 3) Obter um sinal PRBS com uma taxa de amostragem adequada à dinâmica do processo. Utilizando a função `idinput()` projetar um sinal de entrada (Len amostras, Período de Amostragem M) que excite o processo suficientemente. O mesmo conjunto de valores (Len, M) deve ser utilizado em todos os experimentos.
- 4) Com o sinal do atuador como entrada q_i e o nível h_4 como saída identifique o processo nos pontos de operação “baixo” e “alto”, com seguintes modelos:
 - a) FT, Função de transferência
 - b) ARX
 - c) ARMAX
 - d) OE
 - e) BJ
- 5) Compare os resultados com o modelo linearizado `Lin_Analitica.m` (“Ground Truth”).
- 6) Compare a identificação da FT em Malha Aberta e Malha Fechada ($K_p = 10$).

Obs1: Vários experimentos “preliminares” devem ser feitos para escolher taxa de amostragem, amplitude dos sinais, banda do sinal PRBS, ponto de operação etc.

Obs2: Todas as funções podem ser chamadas pela linha de comando, o que permite automatizar os experimentos (rodar em batch todas as simulações!): `iddata()`; `detrend()`; `tfest()`; `arx()`; `compare()` etc.

6. Relatório

- Descrição sucinta dos procedimentos utilizados.
- Incluir curvas que justifiquem a escolha da taxa de amostragem, do ponto de operação etc.
- A partir de qual nível o ruído de medida compromete a identificação? Justifique.
- As funções de transferência obtidas, também na forma $zpk()$ e as constantes de tempo.
- Compare os resultados em tabelas: erro, número de parâmetros etc.
- Qual o “melhor” modelo, considerando uma predição *inf*?

Questão: O processo de nível de líquidos é muito lento. Como a identificação do processo real poderia ser acelerada em malha fechada? Como escolher os parâmetros desta identificação?

Anexo - Identificação em Malha Fechada

A operação em malha fechada permite reduzir o tempo de um experimento de identificação além de simplificar a escolha do ponto de operação.

Quando o sistema não tem zeros um controlador proporcional K_p só altera dois parâmetros do modelo:

Considerando um sistema de 2ª ordem:

Malha Aberta: $G(s) = K/(s+p_1)(s+p_2) = K/[s^2 + (p_1+p_2)s + p_1p_2]$

Malha Fechada: $G_f(s) = K G(s)/[1 + KG(s)]$

$$G_f(s) = \frac{KK_p}{s^2 + (p_1+p_2)s + p_1p_2 + Kk_p}$$

Assim, a partir dos parâmetros identificados para $G_f(s)$ é fácil obter o modelo $G(s)$. Cabe ressaltar que a condição de excitação branca (PRBS) do sinal de entrada $u(s)$ não se aplica mais ao sinal de controle em malha fechada, $u_f(s)$.

$$u_f(s) = u(s)K_p/[s^2 + (p_1+p_2)s + p_1p_2 + Kk_p]$$

