

SENSOR VIRTUAL BASEADO EM FUSÃO DE DADOS PARA ESTIMAÇÃO DA INTERFASE ÓLEO-ÁGUA EM PROCESSOS DE SEPARAÇÃO

LUCAS B. OLIVEIRA, OSCAR A. Z. SOTOMAYOR.

Departamento de Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe

Av. Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze, 49100-000, São Cristóvão, Sergipe.

E-mails: lucas_barros88@hotmail.com, oscars@ufs.br

Abstract— The measurement of multiple interfaces is particularly important for the oil companies, because the crude oil from the sea floor contains a significant amount of water. The paper's aim is to improve this process by the use of virtual sensors for inference these interfaces, once there is a great difficulty by physical sensors. This paper presents two approaches of the Kalman Filter and data fusion for developing a soft sensor to estimate the oil-water interface of an oil separator. The results of numerical simulations, based on the model of a three-phase separator unit, show the effectiveness of the methodology and its potential for the applications in real systems.

Keywords— Level sensors, soft sensors, Kalman filter, data fusion.

Resumo— A medição de múltiplas interfaces é particularmente importante para as companhias de petróleo, porque o óleo bruto que proveniente do fundo do mar contém uma quantidade significativa de água. O objetivo deste trabalho é contribuir na melhoria desse processo por meio da utilização de sensores virtuais para inferência destas interfaces, já que há uma grande dificuldade para tal por meio de sensores físicos. O presente trabalho, apresenta-se duas abordagens do uso do filtro de Kalman e fusão de dados para o desenvolvimento de um sensor virtual para estimar a interface óleo-água de um processo de separação de petróleo. Os resultados de simulações numéricas, baseadas no modelo de uma unidade de separação trifásica, mostram efetividade das metodologias e seus potenciais para aplicações em sistemas reais.

Palavras-chave— Sensores de nível, sensores virtuais, filtro de Kalman, fusão de dados.

1 Introdução

Atualmente, a separação adequada de múltiplas fases vem sendo um grande desafio para as companhias petrolíferas, em especial a do óleo bruto. Uma grande parte dos separadores existentes, hoje em dia, é baseada no princípio da gravidade, onde na parte superior do mesmo encontra-se o gás, na parte inferior água e sólidos diversos, e entre o gás e a água encontra-se o óleo. Assim, para otimizar o processo de separação, é crítica a necessidade do monitoramento e controle dos níveis e interfaces gás-óleo, óleo-água e água-areia.

São muitas as dificuldades de encontrar sistemas adequados para a medição dos níveis de múltiplas fases. Isto se deve a necessidade de alta confiabilidade, a grande quantidade de fluidos, a ambientes hostis e questões de segurança. A maioria dos sistemas disponíveis no mercado, hoje, é baseada em técnicas de ultrassom, radiação gama, capacitância ou deslocamento. Porém, todos esses possuem alguns inconvenientes

O maior desafio existente é controlar a saída de água dos separadores a fim de manter o nível da interface óleo-água numa posição desejada. Para isso é proposta a criação de um instrumento barato e eficiente para a monitoração e operação dos separados de óleo. Este instrumento é baseado na fusão de dados de múltiplos sensores. Esta

combinação de dados dos sensores é feita por meio da utilização de filtros de Kalman para estimação ótima dos níveis das interfaces, possibilitando que o controle destes níveis seja realizado de forma mais eficiente.

2 Processo de Separação de Petróleo

2.1 Descrição do Processo

O processo de separação consiste, em linhas gerais, em separar o fluido multifásico extraído dos poços, composto principalmente de água, óleo e gás, em suas diferentes fases. Nas unidades de produção de petróleo offshore, estas operações são realizadas na unidade de separação. No presente estudo, a unidade de separação é composta de um separador trifásico em série com uma bateria de hidrociclones, conforme mostrado na Figura 1.

O separador de produção trifásico possui formato cilíndrico horizontal e é composto por duas seções denominadas câmara de separação e câmara de óleo, ambas separadas por um vertedouro. A força gravitacional promove a segregação das fases na câmara de separação formando-se uma fase rica em água (fase aquosa), uma fase rica em óleo (fase oleosa) e uma interface entre ambas as fases. A fase oleosa transborda sobre o vertedouro para a câmara de óleo, sendo em seguida transferida até os tratadores, que retiram sais e resíduos da água. O gás,

já separado do óleo e da água, é canalizado para compressores sendo, então, direcionado a uma planta de tratamento, onde a umidade é retirada. A fase aquosa é encaminhada à unidade de tratamento, neste caso os hidrociclones, para redução de resíduos de óleo nos padrões especificados.

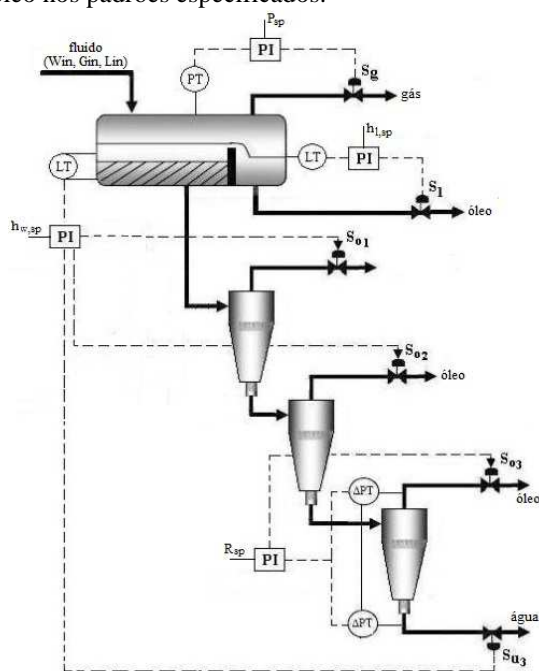


Figura 1. Unidade de Separação Trifásica (Adaptado de Silveira, 2006).

O simulador da unidade de separação utilizado neste trabalho foi implementado na plataforma Simulink/Matlab®, e é baseado em modelos fenomenológicos disponíveis na literatura. Para maiores detalhes vide Figueiredo (2009).

2.2 Controle do Processo

A unidade de separação opera sob um sistema de controle preditivo (MPC) atuando sobre uma camada inferior de controle regulatório, composto de quatro controladores PI (proporcional-integrativo).

Na camada inferior, o controle da pressão no separador (P), o nível da fase oleosa na câmara de óleo (h_i) e o nível da interfase água-óleo na câmara de separação (h_w) é realizada pela manipulação das aberturas da válvula de gás (S_g), válvula de óleo (S_1) e válvula de água (S_{u3}), respectivamente. Além disso, inclui-se um controle de razão para o último hidrociclone, utilizando um controlador PI para manter constante a relação entre as quedas de pressão da corrente de topo e de fundo (R) pela manipulação da abertura da válvula de topo (S_{o3}), garantindo, desta forma, uma melhor eficiência de separação.

O controlador MPC manipula os *setpoints* dos controladores PI, enviando para estes o melhor *setpoint* possível para estabilizar o sistema, de forma a atenuar as perturbações que possam prejudicar o processo de produção. Assim, as variáveis manipuladas e controladas do MPC são os *setpoints* e

as variáveis controladas dos PI's, respectivamente (Santos e Sotomayor, 2012).

3 Fusão de Dados

3.1 Introdução

O conceito de fusão de dados foi introduzido no início dos anos 70, em pesquisas médicas destinadas à produção de diagnósticos via métodos computacionais, assim como no campo militar, em estudos para identificação de alvos (aéreos, terrestres e aquáticos). Desde então, o problema da fusão de dados esteve relacionado à necessidade de se combinar dados precisos (natureza binária) e imprecisos (nebulosos), que apresentam diversos graus de incerteza (Filho et al, 2007).

Geralmente, a utilização da fusão de dados traz diversas melhorias. Essas vantagens envolvem principalmente melhorias na autenticidade dos dados ou na disponibilidade. Exemplos do primeiro são a melhor detecção, certeza e confiabilidade, bem como a redução na ambiguidade dos dados, enquanto a extensão da cobertura espacial e temporal pertence a esta última categoria de benefícios (Khaleghi, 2013). A aplicação de fusão de dados se estende por um vasto espectro, incluindo monitoramento ambiental, detecção e rastreamento automático de alvos, vigilância de batalhas, sensoriamento remoto, percepção global, etc. (Nazar, 2009).

3.2 Filtro de Kalman Utilizando Fusão de Dados

3.2.1 O Filtro de Kalman

Um dos métodos mais usado para fusão de dados e estimativas ótimas é o filtro de Kalman, onde é comumente utilizado a combinação de informações, proveniente de dados quantitativos, baseando-se em algoritmos que atribuem ponderações para as informações disponíveis.

O filtro de Kalman é baseado em duas etapas: predição e atualização. A primeira etapa é responsável previsão do estado, já a segunda, é responsável pela correção dessa previsão com medições adquiridas do processo. Estas duas etapas são resumidas nas seguintes equações:

Estes algoritmos são matematicamente equivalentes para o filtro de Kalman com a fusão de sensores, isto é, com a nova equação da medição fundida.

Na Figura 7, pode ser visto o algoritmo de fusão de dados por meio da fusão de medições.

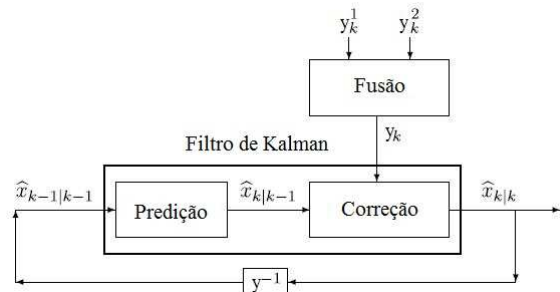


Figura 7. Processo de fusão de medições (Gao & Harris, 2002).

b) Modelo de Fusão de Estimativas

O modelo de estimativa de fusões é um pouco diferente dos propostos anteriormente. Isso porque, ao contrários dos outros, a fusão é feita por último. Inicialmente são realizadas as estimativas utilizando cada uma das medições e, em seguida, estas estimativas são fundidas a fim de fornecer uma outra estimativa mais precisa e próxima do valor esperado. As estimativas são realizadas por qualquer um dos filtros de Kalman propostos. Porém, para aplicar a fusão das necessárias as equações seguintes.

mais próximo das medições. Quando o valor do ganho de Kalman é baixo, o filtro segue mais de perto as previsões do modelo, suavizando o ruído. Supondo o ganho de Kalman tendendo ao infinito, as previsões do modelo são completamente ignoradas. O contrário, quando o ganho de Kalman é igual à zero, as medições são completamente ignoradas.

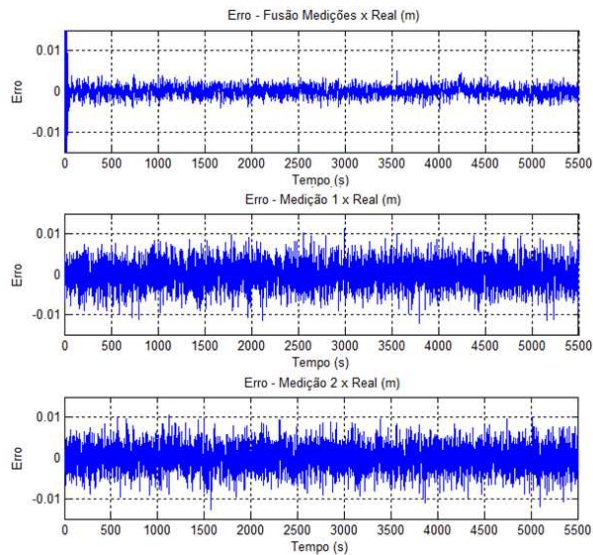


Figura 10. Erro entre os sinais e o valor esperado na saída.

O resultado do cálculo do erro quadrático médio dos três sinais da Figura 10 em relação ao sinal real pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2. Erro quadrático médio para primeira forma de fusão de medições.

Erro Quadrático Médio dos Sinais

uma grande ferramenta para contornar erros aleatórios dos quais os processos estão susceptíveis.

Verificando os valores dos erros quadráticos médios dos níveis, em relação ao valor esperado, na tabela 4, fica nítido o potencial desse método. O valor do erro do nível proveniente da fusão das estimativas se mostrou inferior ao anteriores.

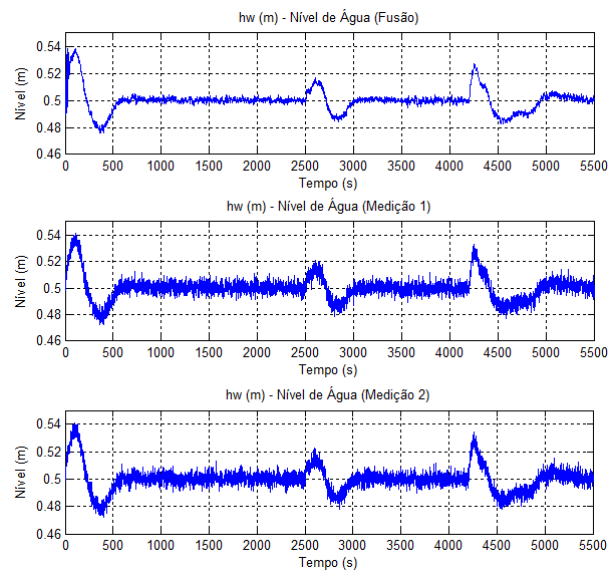


Figura 12. Variação do nível estimado e das medições dos sensores.

Tabela 4. Erro quadrático médio para fusão de estimativas.

Erro Quadrático Médio dos Sinais