

Controle Adaptativo de Ventilador Pulmonar

Taciana Tonetto Castelo Branco, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, e-mail: taciana_tcb@yahoo.com

Raul Gonzalez Lima, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, e-mail: lima.raul@gmail.com

Introdução

A ventilação mecânica tem como objetivo assistir parcial ou totalmente a atividade respiratória do paciente, auxiliando a entrada e saída de gases do pulmão. Um ventilador de terapia intensiva é composto basicamente por uma válvula de fluxo, que age no controle da inspiração e uma válvula expiratória, que controla a expiração.

Atualmente, um dos modos ventilatórios mais utilizados consiste na manutenção de uma pressão positiva na via aérea do paciente, controlada pela abertura da válvula de fluxo.

O controle do fluxo necessário é dependente das características fisiológicas do pulmão do paciente que está sendo ventilado. Estas características variam fortemente entre os pacientes, por fatores como idade, sexo e patologia, e mesmo no mesmo paciente, por alguma ocorrência súbita (como o pneumotórax).

Por isso, é importante que o controle da válvula inspiratória seja robusto de forma a comportar-se bem frente a variações do sistema a ser controlado, por critérios como sobressinal e tempo de atenuação. Dessa forma, identifica-se o controle adaptativo com identificação de parâmetros como uma boa alternativa para esta aplicação.

Objetivo

Apresentar uma proposta de controle de fluxo e pressão de um ventilador pulmonar baseada em identificação recursiva de parâmetros da planta (pulmão do paciente) e em leis de controle adaptativo. Esta proposta visa manter o padrão desejado de ventilação mesmo com variação das condições fisiológicas do paciente.

Modelagem

Dois elementos principais são modelados: os pulmões do paciente (ou planta do sistema) e a válvula inspiratória. As principais propriedades pulmonares são a resistência e a complacência e ambas estão relacionadas à pressão na via aérea superior do paciente (boca).

A resistência é relativa à pressão gerada pela passagem de fluxo nas vias aéreas do paciente. A complacência relaciona-se a variação de pressão por conta da variação de volume de gases nos alvéolos.

Para este estudo, os pulmões são modelados através de uma resistência inicial, representando a traquéia, e dois valores de complacência em paralelo relativos a cada um dos pulmões propriamente ditos. (Castelo Branco, 2005). O modelo está relacionado a analogia elétrica, sendo que a pressão seria tensão e o fluxo, a corrente elétrica (ver figura 1).

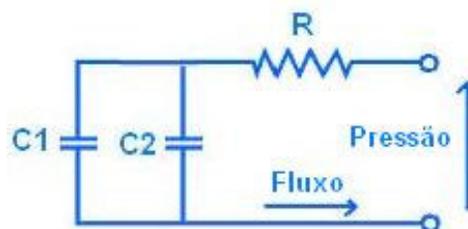


Figura 1: Modelo Pulmonar utilizando Analogia Elétrica - C1, C2: complacência de cada pulmão, R: resistência de via aérea.

A válvula de fluxo é modelada como um orifício de dimensão variável, com uma pressão de entrada constante. Além disso, é considerado um atraso de abertura para representar a inércia do dispositivo mecânico.

Os parâmetros monitorados do sistema são a pressão de via aérea e o fluxo inspiratório e expiratório. A simulação do sistema (tanto planta como controle) é realizada no tempo discreto de forma a simular o controle digital do equipamento médico.

Identificação da Planta

Os valores de resistência e complacência da planta serão estimados a partir de dados de cada ciclo respiratório, baseados em um filtro transversal ou um filtro de resposta impulsiva de duração finita (FIR - finite-duration impulsive response).

A equação (1) descreve o filtro, sendo uma soma de convolução finita, em que a resposta ao impulso finito (w_k) é convolucionada com a entrada do filtro (u) para produzir a saída do mesmo (y), sendo n o instante da saída e M o número de instantes utilizadas para gerar a resposta.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} w_k u(n-k) \quad (1)$$

Em específico, visa-se a utilização de um algoritmo rápido – para viabilizar a estimativa em tempo real (a cada ciclo respiratório) – baseado no método recursivo de mínimos quadrados. (Haykin, 1991).

Controle Adaptativo

Com base nos parâmetros estimados da planta, é possível atualizar os parâmetros de controle da válvula de fluxo e determinar sua curva de abertura. Assim, obtêm-se curvas de pressão adequadas mesmo frente a variações da planta.

Duas abordagens podem ser consideradas: o agendamento de ganho (*gain scheduling*) e o Controle Adaptativo com Modelo de Referência. O primeiro método baseia-se em tabelar os ganhos de controle para determinadas faixas de valores dos parâmetros resistência e complacência. Este método é teoricamente simples, tendo sua complexidade aumentada de acordo com o número de “pontos de operação do sistema”. A segunda abordagem tem como objetivo que a saída do sistema real seja tão próxima quanto possível da saída de um modelo de referência. Esta metodologia exige boa definição dos requisitos de desempenho de forma a determinar precisamente os parâmetros do modelo de referência. O diagrama do controle está na figura 2 (Iannou e Sun, 1996).

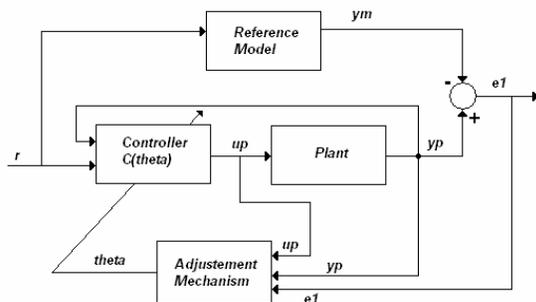


Figura 2: Estrutura Geral do Controle Adaptativo com Modelo de Referência

De forma geral, é importante que o Controle Adaptativo permita que o desempenho do ventilador pulmonar atenda a critérios de resposta transiente e também clínicos, preservando a fisiologia do paciente.

Resultados Parciais

Os resultados preliminares indicam que o emprego de controle adaptativo comparado a um controle PID, linear, permite uma redução do sobressinal, uma redução do tempo de atenuação em cenários com súbita redução da complacência de um dos pulmões. Do ponto de vista clínico, estes dois aspectos tem grande relevância para diminuir a probabilidade de ocorrer lesões por ventilação mecânica.

Referências bibliográficas

Castelo Branco, T. T., Melhoria da Resposta Transiente de Sistema de Controle de Fluxo e Pressão em Ventiladores Pulmonares, Trabalho de Formatura, Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2005.

Haykin, S., Adaptive Filter Theory, Prentice-Hall, Estados Unidos da América, 2a edição, 1991.

Iannou, P.A.; Sun, J., Robust Adaptive Control, Prentice-Hall, Estados Unidos da América, 1a edição, 1996.