

Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Engenharia Eletrônica

**ELT062 - OFICINA DE SIMULAÇÃO ANALÓGICA E DIGITAL  
EM CONTROLE**

**PROJETO FINAL - Simulação de um Jato Executivo**

Instrutores: Alexandre R. Mesquita e Bruno O. S. Teixeira

OBJETIVOS E MÉTODO

O objetivo dessa tarefa é criar um modelo de simulação no Simulink para um modelo não-linear de seis graus de liberdade de um jato executivo. Em particular, esse modelo deverá permitir a execução de simulações em “tempo real” e deverá possuir uma interface com o simulador de voo *opensource* FlightGear, de forma que a trajetória simulada seja visualizada em tempo de execução através desse software.

Para a execução desse projeto, a turma será dividida em grupos, ficando cada grupo responsável por gerar blocos do Simulink que deverão ser interligados para formar o modelo final.

O modelo de aeronave a ser simulado é aquele apresentado no livro *Flight Dynamics*, de Robert Stengel, e disponibilizado pelo autor na forma de m-files na sua página na internet (<http://www.princeton.edu/~stengel/FDcodeB.html>). Cada m-file deverá ser reescrito na linguagem de blocos do Simulink para formar um subsistema da simulação. A princípio, seria possível criar blocos no Simulink diretamente a partir de m-files usando blocos do tipo S-function. Contudo, o uso de S-functions definidas a partir de m-files torna impossível gerar simulações em tempo real. Por isso, é mandatório que os m-files sejam reescritos usando a lógica de blocos do Simulink.

Cada bloco do diagrama de simulação deverá possuir as mesmas entradas e saídas que as funções correspondentes definidas em m-file. As variáveis globais poderão ser definidas como variáveis do workspace. Para tanto, será interessante a criação de um m-file para definição dos parâmetros de simulação. Contudo, ao contrário do que é feito nos m-files, os sinais de controle não devem ser definidos como variáveis globais, mas como sinais de entrada e saída dos blocos (aqui nos referimos a  $u$ ,  $tuHis$ ,  $deluHis$ ,  $ulnc$ ).

**Condições iniciais - *Trimming*.** Se a dinâmica do sistema é dada por uma equação da forma  $\dot{x} = f(x, u)$ , então chamamos de *trimming* à determinação de trajetórias e comandos nominais  $\bar{x}$  e  $\bar{u}$  que satisfazem  $\dot{\bar{x}} = f(\bar{x}, \bar{u})$  de forma a atender uma dada condição de voo. Para nossa simulação, essas condições consistem em voo de cruzeiro a uma altitude constante de 12000 pés e a uma velocidade indicada constante de 270 nós (obviamente, o termo voo de cruzeiro também implica que atitude da aeronave deve manter-se constante).

O arquivo FLIGHT.m possui uma pequena rotina para, dadas as condições de voo, resolver a equação  $\dot{\bar{x}} = f(\bar{x}, \bar{u})$  e determinar quais comandos  $\bar{u}$  devem ser utilizados. O Grupo 1 deverá usar essa mesma rotina para calcular as condições iniciais para a simulação.

É interessante notar que a rotina para *trimming* resolve um problema de otimização numérica que escolhe a potência dos motores, o ângulo de arfagem e o ângulo de uma das superfícies de controle de modo a minimizar a variação temporal do ângulo de arfagem, da altitude e da velocidade de cruzeiro.

Embora os efeitos aerodinâmicos de trens de pouso e spoilers não apareçam nessa simulação, esses parâmetros devem ser mantidos no modelo para preservar sua abrangência.

**Comandos de controle.** Todos os comandos serão mantidos constantes com a exceção de uma das superfícies de controle, que será submetida a uma oscilação senoidal no tempo. Essa situação corresponde a um ensaio típico usado para testar aeronaves.

Fica a critério do Grupo 1 escolher qual superfície de controle usar e quais serão a frequência e a amplitude de oscilação. As demais superfícies de controle deverão ter deflexão nula (excluindo aquela definida pelo procedimento de *trimming*). Além disso, é importante notar que nem todas as superfícies de controle podem ser variadas de forma contínua.

Opcionalmente, dependendo do trabalho do Grupo 5, comandos de controle originados de um *joystick* poderão ser utilizados.

**Entrega.** Uma demonstração da simulação em tempo real deverá ser feita no dia 28/11/11, quando também deverá ser entregue um relatório em formato pdf com os arquivos gerados em anexo.

**Formação dos grupos.** Os alunos poderão propor grupos de trabalho até o dia 17/10/2011, podendo contactar o instrutor por email para indicar suas preferências em termos de tarefa a realizar. Os pedidos serão atendidos por ordem de chegada e deverão ser feitos por um grupo já formado (não por um indivíduo). O instrutor resolverá eventuais pendências após o prazo do dia 17/10. Ao formar os grupos, os alunos devem considerar que as tarefas dos grupos 1 e 5 envolvem a pesquisa de documentação em inglês, o que pode significar uma dificuldade para certos alunos.

Abaixo, descrevem-se as atribuições de cada grupo.

#### GRUPO 1 - DIAGRAMA PRINCIPAL (FLIGHT.M)

##### *Máximo de 3 integrantes*

Este grupo está responsável por gerar o diagrama de simulação principal, que deve integrar os demais blocos, assim como no arquivo FLIGHT.m. A determinação das condições iniciais deverá ser feita *offline* pelo grupo usando a rotina de *trimming* do arquivo FLIGHT.m. Este grupo também é responsável por entender a ferramenta Real Time Workshop e utilizá-la para gerar simulações em tempo real. Visto que nem todos os blocos do Simulink podem ser usados em simulações de tempo real, este grupo deverá interagir com os demais para garantir que apenas blocos que permitem simulação em tempo real sejam utilizados.

## GRUPO 2 - EQUAÇÕES DE MOVIMENTO (EoM.M)

### *Máximo de 2 integrantes*

Este grupo está responsável por gerar o bloco correspondente à função `EoM.m`, que define as derivadas de estado em função do estado atual e das entradas de controle. A função `DCM.m`, usada para conversão entre diferentes sistemas de referência, também é de responsabilidade desse grupo.

## GRUPO 3 - MODELO AERODINÂMICO (AEROModelMach.M)

### *Máximo de 3 integrantes*

Este grupo está responsável por gerar o bloco que define as forças e momentos aerodinâmicos a partir do estado atual e dos comandos de controle. Esse bloco deverá ter as mesmas características da função `AeroModelMach.m`. Opcionalmente, o grupo pode ainda implementar um bloco que representa o modelo para altos ângulos de ataque (`AeroModelAlpha.m`).

## GRUPO 4 - MODELO ATMOSFÉRICO (ATMOS.M & WINDFIELD.M)

### *Máximo de 2 integrantes*

Este grupo está responsável por criar os blocos que definem as condições atmosféricas para uma dada altitude. Deverá ser criado um bloco para a função `Atmos.m` e outro para a função `WindField.m`. Este último deverá definir um vento de 20 nós na direção nordeste para a altitude de cruzeiro, havendo um acréscimo (decréscimo) de 5 nós com um aumento (diminuição) de 1000 pés. Dica: dados fornecidos no formato de tabelas podem ser utilizados no Simulink usando blocos do tipo LookUp Tables.

## GRUPO 5 - INTERFACE COM O SIMULADOR FLIGHTGEAR

### *Máximo de 3 integrantes*

Este grupo está responsável por criar um bloco de saída que envie as informações da simulação para o software FlightGear de forma que a simulação possa ser visualizada em tempo real através desse software. Os dados enviados devem incluir as variáveis de estado, a deflexão das superfícies de controle e as indicações dos instrumentos da aeronave.

Há soluções prontas tanto comerciais quanto livres para esse tipo de interface. Portanto, caberá aos alunos apenas pesquisá-las, entendê-las e utilizá-las.

O grupo deverá escolher um cenário e deslocar a trajetória original para coordenadas do globo terrestre com o cenário desejado.

Dentre as soluções prontas mencionadas, existem blocos do Simulink para a inclusão de entradas de *joysticks* que podem ser usados para comandar a aeronave. Embora não seja um requisito desse projeto final, existe aí uma oportunidade valiosa de enriquecer o projeto (dado que algum aluno possua um *joystick* compatível).

## GRUPO 6 - DOCUMENTAÇÃO

*Máximo de 3 integrantes*

Este grupo está responsável pela documentação do projeto. O documento final deverá conter a descrição do diagrama de blocos e uma explicação de como o modelo criado pode ser utilizado. Além disso, deve incluir uma seção em que estão escritas as equações simuladas, havendo uma descrição das variáveis de estado, das variáveis de controle e da física da dinâmica de voo. Este grupo também está responsável por gerar gráficos que ilustram os resultados da simulação.