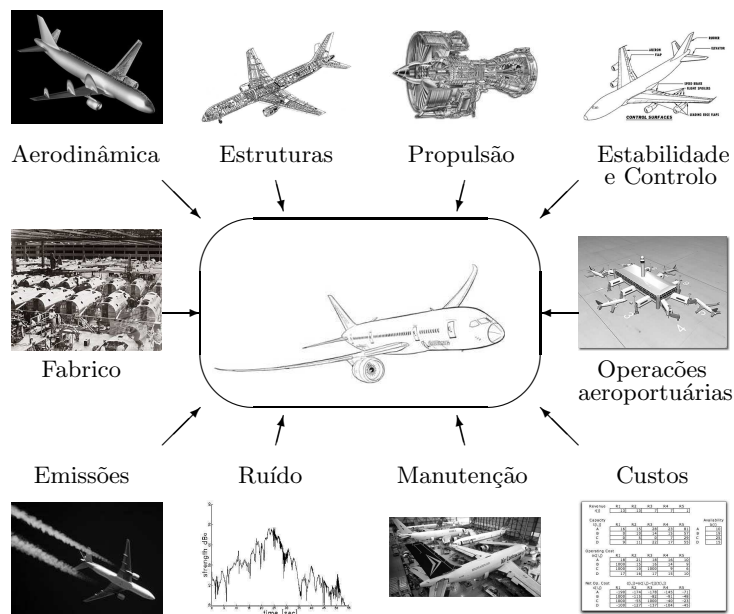


Optimização Multidisciplinar de Aeronaves

(Multidisciplinary Design Optimization)



Diploma de Estudos Avançados em Engenharia Aeroespacial (DEAEAer)
Diploma de Estudos Avançados em Engenharia Computacional (DEAEngCmp)

André C. Marta
{*andre.marta@ist.utl.pt*}
CCTAE, IST

28 de Julho de 2011

Introdução

Nas últimas décadas, a modelação numérica tem-se tornado suficientemente fidedigna na simulação de sistemas, o que aliado à utilização de técnicas de optimização numérica, tem permitido automatizar o projecto desses sistemas.

A crescente complexidade de sistemas projectados actualmente, em particular na área aeronáutica e aeroespacial, implica a conjugação de diversas áreas científicas e técnicas. Facilmente se reconhece que a forma que confere o melhor desempenho aerodinâmico de uma aeronave não corresponde necessariamente ao melhor comportamento estrutural ou aos menores custos de fabrico.

Como tal, é dada cada vez mais importância à multidisciplinaridade envolvida em projectos, não só a nível académico, mas também a nível industrial. O que anteriormente era gerido de forma iterativa e sequencial entre diferentes módulos disciplinares (leia-se departamentos ou equipas especializadas em empresas), é agora encarado como um problema global de optimização multidisciplinar. Tal abordagem acoplada simultânea permite obter vantagens significativas em termos de performance do sistema como um todo. Nesse sentido, o projecto óptimo multidisciplinar (MDO) é um tópico cujo reconhecimento tem vindo a crescer.

Enquanto a optimização de sistemas envolvendo uma única disciplina está amplamente divulgada, a optimização multidisciplinar é um tópico ainda em desenvolvimento. A MDO dedica-se ao desenvolvimento de estratégias, utilizando análises numéricas e técnicas de optimização existentes, que permitam a automação do processo de projecto de um sistema multidisciplinar.

Apesar de MDO ter tido origem em projecto aeroespacial, a sua transversalidade tem feito com que seja igualmente aplicada noutras áreas, tais como projecto automóvel, projecto naval ou projecto de circuitos electrónicos.

Esta unidade curricular visa cobrir os mais recentes métodos de projecto óptimo multidisciplinar, proporcionando uma visão integradora aquando de solução de problemas complexos, onde diversos domínios, tais como aerodinâmica, estruturas, propulsão, estabilidade e controlo, emissões e ruído, fabrico e manutenção e custo, co-existem e competem entre si na definição da solução óptima de um projecto aeroespacial. Nesta cadeira, os alunos aprenderão a formular e solucionar problemas utilizando ferramentas numéricas. Para projecto final, o aluno poderá identificar um problema de optimização multidisciplinar que melhor se enquadre com os seus interesses científicos.

Objectivos Gerais

A disciplina tem por objectivo a introdução ao projecto óptimo multidisciplinar, incorporando técnicas de optimização, em especial na vertente multidisciplinar. Para isso, os diversos domínios científicos relevantes ao projecto aeronáutico são revistos, bem como os princípios básicos de optimização numérica, servindo de base para a introdução subsequente de abordagens multi-objectivo e multi-disciplinares.

Pretende-se que os alunos desenvolvam competências na:

- Identificação das diversas disciplinas envolvidas num projecto;
- Selecção das ferramentas de análise para cada disciplina;
- Utilização de técnicas de optimização clássica e novas técnicas multidisciplinares;
- Formulação matemática de problemas de optimização (variáveis de projecto, funções objectivo e constrangimentos);
- Selecção de métodos de optimização adequados;
- Selecção do tipo de acoplamento multidisciplinar e de decomposição adequados;
- Resolução numérica de problemas de projecto óptimo multidisciplinar.

Pré-requisitos

Esta unidade curricular requer conhecimentos de álgebra linear, cálculo multivariável e métodos numéricos. São desejáveis conhecimentos prévios de optimização clássica. É igualmente necessária experiência com pelo menos uma linguagem de programação (Fortran, C, Java, Python, Matlab,...) para a realização dos trabalhos propostos.

Programa

O programa encontra-se dividido em três partes, detalhadamente descritas abaixo, com indicação do número previsto de aulas teóricas em parênteses.

Na primeira parte, com duração de 1 semana, será exposta a temática de projecto óptimo multidisciplinar, com especial ênfase para os diversos domínios (aerodinâmica, estruturas, propulsão, ...) e como interagem entre si na concepção de uma aeronave.

Na segunda parte, com duração de 2 semanas, será realizada uma exposição sucinta dos métodos mais comuns em optimização clássica. Consoante o nível de conhecimento prévio dos alunos, o nível de detalhe desta parte será devidamente ajustado.

Na terceira parte, com duração de 11 semanas, será detalhadamente abordado o tema de projecto óptimo multidisciplinar, começando com uma perspectiva histórica, passando pela descrição detalhada das diferentes abordagens e arquiteturas de optimização, e terminando com tópicos recentes de investigação.

Tendo em conta as 14 semanas de aulas previstas por semestre, a calendarização das lições encontra-se na Figura 1.

1. Introdução ao projecto óptimo multidisciplinar (1 aula)
 - (a) Perspectiva histórica
 - (b) Definição de projecto óptimo multidisciplinar
 - (c) Objectivos e dificuldades em optimização multidisciplinar
 - (d) Terminologia, definição e classificação de problemas de optimização
 - (e) Exemplos de aplicações aeroespaciais e outras
2. Revisão de optimização clássica (2 aulas)
 - (a) Optimização 1-D e multi-variável (0.5 aula)
 - i. Condições de optimalidade
 - ii. Métodos de busca de mínimo (biseção, Fibonacci, secção dourada, Newton, interpolação polinomial)
 - (b) Optimização baseada em gradientes (0.25 aula)
 - i. Métodos de *steepest descent*, direcções conjugadas, Newton e quasi-Newton (DFP, BFGS)
 - ii. Métodos de região de confiança (superfícies de resposta, projecto de experiências, regressões)
 - (c) Optimização com constrangimentos (0.25 aula)
 - i. Condições de optimalidade KKT e multiplicadores de Lagrange
 - ii. Métodos de penalidade e barreira
 - iii. Programação quadrática sequencial (SQP)
 - iv. Aglomeração de constrangimentos
 - (d) Métodos de análise de sensibilidade (0.5 aula)
 - i. Diferenciação analítica e simbólica

- ii. Diferenças-finitas e diferenças de passo complexo
 - iii. Diferenciação algorítmica
 - iv. Métodos semi-analíticos
- (e) Optimização sem gradientes (0.5 aula)
 - i. Métodos Simplex
 - ii. Algoritmos evolucionários: GA, GA de variável real
 - iii. Algoritmos heurísticos: *simulated annealing, particle-swarm, colony*
 - iv. Redes neuronais
 - v. Métodos de amostragem
 - vi. Optimização multi-objectivo e frentes de Pareto
- 3. Estratégias de projecto óptimo multidisciplinar (MDO) (1 aula)
 - (a) Abordagem *all-in-one*:
 - i. Sem estratégia
 - ii. Programação sequencial linear
 - iii. Programação sequencial quadrática
 - (b) Abordagem baseada em decomposição:
 - i. Hierárquica
 - ii. Não-hierárquica
 - iii. Híbrida
- 4. Introdução a arquitecturas MDO (1 aula)
 - (a) Optimização sequencial
 - (b) Abordagens com optimização monolítica:
 - i. Tudo em simultâneo (*All-At-Once*) (AAO)
 - ii. Multidisciplinar executível (*Multidisciplinary Feasible*) (MDF)
 - iii. Disciplina individual executível (*Individual Discipline Feasible*) (IDF)
 - (c) Abordagens com optimização bi-nível:
 - i. Optimização colaborativa (*Collaborative Optimization*) (CO)
 - ii. Optimização de sub-espacos concurrentes (*Concurrent SubSpace Optimization*) (CSSO)
 - iii. Síntese binível de integração de sistemas *Bi-Level Integrated System Synthesis* (BLISS)
 - iv. Objectivo em cascata analítico (*Analytical Target Cascading*) (ATC)
 - v. Programação física (*Physical Programming*) (PP)
 - (d) Exemplo comparativo
- 5. Arquitecturas MDO - Optimização monolítica MDF (1 aula)
 - (a) Acoplamento dos módulos de análise
 - (b) Formulação como optimização clássica

- (c) Convergência e custo computacional
- 6. Architecturas MDO - Optimização colaborativa (CO) (1 aula)
 - (a) Projecto multidisciplinar distribuído
 - (b) Decomposição baseada em optimizador
 - (c) Optimização multi-nível (CSSO)
- 7. Architecturas MDO - Métodos emergentes em CO (1 aula)
 - (a) CO com modelação de superfícies de resposta
 - (b) Optimização colaborativa modificada (MCO)
 - (c) Optimização colaborativa melhorada (ECO)
- 8. Architecturas MDO - Síntese bi-nível de integração de sistemas (BLISS) (2 aulas)
 - (a) Decomposição do problema global
 - (b) Análise distribuída concorrente
 - (c) Computação paralela
 - (d) BLISS 2000
- 9. Avanços recentes em investigação MDO (2 aulas)
 - (a) Métodos de análise e optimização
 - (b) Procedimentos de optimização
 - (c) Quantificação de incerteza
 - (d) Projecto robusto
- 10. Futuro de MDO (1 aula)
 - (a) Integração de ferramentas numéricas
 - (b) Implementação industrial
 - (c) Gestão de recursos humanos em projecto
 - (d) Códigos comerciais
- 11. Optimização multi-fidelidade (1 aula)
 - (a) Estratégias de aproximação
 - (b) Aproximações físicas e numéricas
 - (c) Modelos de baixa- e alta-fidelidade
 - (d) Processo Gaussiano de regressão (Kriging)

Horário

A carga horária prevista será a seguinte:

Tipo de Aula	Horas Semanais
Teórica	2.00

A carga horária indicada na Tabela corresponde carga total de 168 horas por semestre, assumindo 14 semanas de aulas:

Natureza	Horas Semestrais
Carga horária de contacto	28
Trabalho autónomo	140
Carga total	168

A referida carga horária corresponde a uma unidade curricular de 6.0 créditos ECTS.

Método de Avaliação

O processo de avaliação é contínuo e inclui um conjunto de 3 trabalhos a realizar ao longo do semestre e um projecto final com nota mínima de 10 valores. A avaliação do projecto final inclui discussão oral sobre o trabalho desenvolvido e os resultados obtidos.

A nota final será calculada de acordo com a seguinte tabela:

Trabalho	Peso
Trabalho #1	10 %
Trabalho #2	15 %
Trabalho #3	15 %
Projecto final	60 %

Introdução ao projecto óptimo multidisciplinar

Revisão de optimização clássica

Estratégias de projecto MDO

Introdução a arquitecturas MDO

Arquitecturas MDO - MDF

Arquitecturas MDO - CO

Arquitecturas MDO - BLISS

Tópicos de investigação de MDO

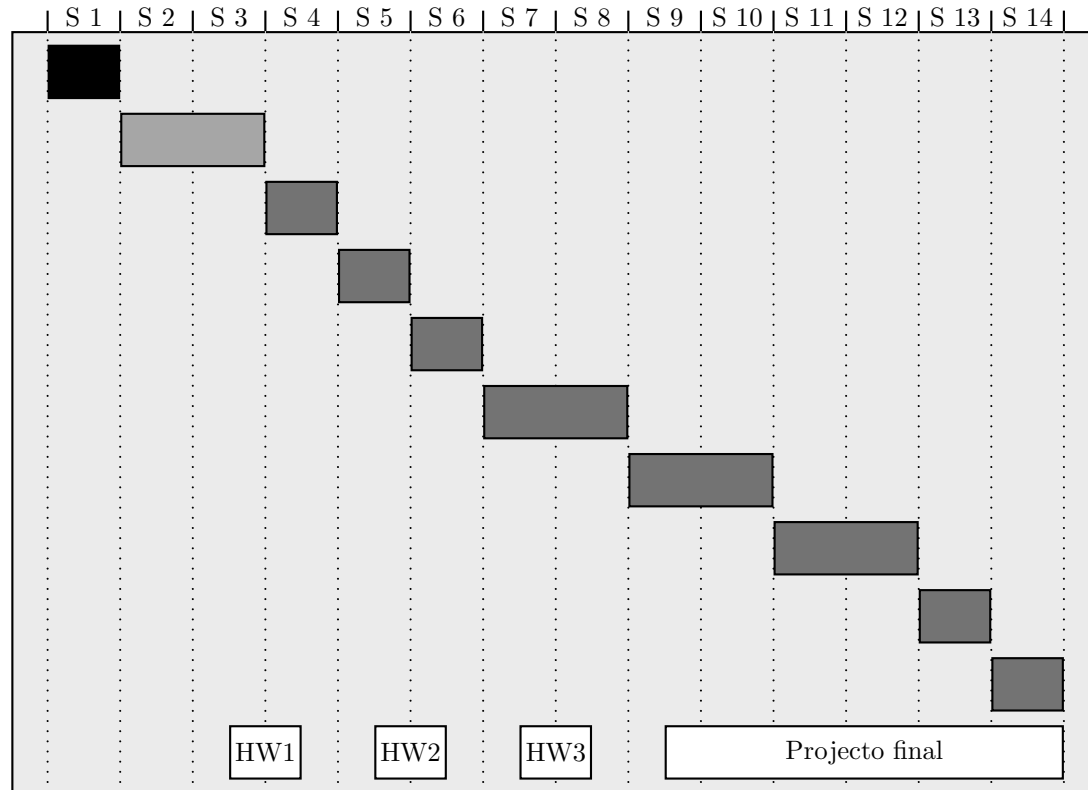
Futuro de MDO

Optimização multi-fidelidade

Tabela 1: Calendário proposto.

7

Trabalhos



Bibliografia

- [1] Andre C. Marta. *Introduction to Multidisciplinary Design Optimization*. Course notes, 2011.
- [2] Natalia M. Alexandrov and M. Yousuff Hussaini, editors. *Multidisciplinary Design Optimization: State of the Art*, number 80 in Proceedings in Applied Mathematics Series. Soc for Industrial & Applied Math, 1997. ISBN: 0898713595.
- [3] J. Sobieszczanski-Sobieski and R. T. Haftka. Multidisciplinary aerospace design optimization: survey of recent developments. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 14(1):1–23, Aug 1997.
- [4] Philippe Dépincé, Benoît Guédas, and Jérôme Picard. Multidisciplinary and multiobjective optimization: Comparison of several methods. In *Proceedings in 7th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization*, Seoul, South Korea, May 2007. COEX.
- [5] Roman B. Statnikov and Joseph B. Matusov. *Multicriteria Optimization And Engineering*. Springer, 1995. ISBN: 0412992310.
- [6] Ashok D. Belegundu and R. Tirupathi. *Optimization Concepts and Applications in Engineering*. Prentice Hall, 1999. ISBN: 0130312797.
- [7] Philip E. Gill, Walter Murray, and Margaret H. Wright. *Practical Optimization*. Academic Press, 1982. ISBN: 0122839528.
- [8] Jorge Nocedal and Stephen J. Wright. *Numerical Optimization*. Springer, 2006. ISBN: 0387303030.
- [9] D. E. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Longman, 1989. ISBN: 0201157675.
- [10] Ilan Kroo. Distributed multidisciplinary design and collaborative optimization. In *Optimization Methods & Tools for Multicriteria/Multidisciplinary Design*, VKI lecture series, Nov 2004.
- [11] Jaroslaw Sobieszczanski-Sobieski, Troy D. Altus, Matthew Phillips, and Robert Sandusky. Bilevel integrated system synthesis for concurrent and distributed processing. *AIAA Journal*, 41(10):1996–2003, Oct 2003.
- [12] Michael B. Giles and Niles A. Pierce. An introduction to the adjoint approach to design. In *Flow, Turbulence and Combustion*, volume 65, pages 393–415. Kluwer Academic Publishers, 2000.