

课程名称：复杂动态系统的仿真与建模 (Introduction to simulation and modeling of complex dynamical systems)

课 程 号：待定

授 课 人：Luca Daniel教授，美国麻省理工学院 (MIT)

授课语言：英文

考核方式：考查

学 分：1

课 容 量：30人

上课时间：2015年8月24日，下午17:00~17:50，8月25-28日，下午14:00~17:30

上课地点：待定

授课对象：研究生、高年级本科生

选课的同学请发邮件给课程联系人，写清姓名、学号、院系、联系方式等信息。课程联系人将在收信后，最迟开课前两天回信告知上课地点。

课程联系人：徐哲钊（助教）：zhezhaoxu@gmail.com,

喻文健（合作教师）：yu-wj@tsinghua.edu.cn

课程简介：

许多工程中与自然科学中的复杂系统可看成是由许多相互连接的动态系统组件所组成的。这些工程中的复杂系统例子包括：芯片上实验室、iPad, 核磁共振影像扫描仪、全国范围的电力/天然气/石油输送网络、建筑、汽车与航空器等；自然科学中的复杂系统的例子包括：人体心血管系统、脑神经网络、生物系统、石油/水/天然气储量的地理物理网络，等等。每个单独的系统组件的性能与特征往往依赖于工程人员或科学家所说的“二阶效应”，只能通过耗费大量时间的偏微分方程求解才能准确刻画。而且，它们还往往受到参数或几何上的随机不确定因素的影响，这使得建模与仿真的难度进一步加大。

在本课程中，我们将介绍对各种各样工程与物理复杂系统（如航空航天、力学、电学、能源与生物医学中的一些例子）进行建模与仿真、以及不确定性量化（uncertainty quantification）的一些方法。重点不在数学形式化与严格的理论证明，而在于发展通用的科研直觉与实用的实现技巧。并且，通过讲授最前沿的数值计算方法与工具，可帮助学生解决其研究领域涉及复杂系统的分析、设计与优化问题的研究课题。

学生完成本课程之后，将能够：

- 认识和形式化许多复杂系统共同的数学结构（如守恒定律和本构方程）
- 对于给定的线性或非线性复杂系统描述选用、修改或实现一个合适的稳态仿真求解器（如基于稀疏 LU 分解或迭代方法的）
- 对于给定的非线性复杂系统选用、修改或实现一个合适的策略使得牛顿迭代求解器能够方便地初始化与收敛
- 对于给定的复杂系统时域仿真问题选用和实现一种合适的求解技术（例如隐式还是显式方法、低阶还是高阶方法、stable 还是 A-stable 方法）
- 对于复杂系统的周期状态分析问题（如力学/结构工程中的振动、射频电路、心脏搏动）选用和实现一种合适的求解策略（如 Shooting Newton 法或 Harmonic Balance 法）
- 选择和实现合适的策略对求解偏微分方程得到的复杂系统模型进行自动的约简，同时对较大范围参数取值保证输入/输出准确度，以及重要物理性质
- 选择和实现合适的策略根据输入/输出测量数据来自动生成稳定的参数化约简模型
- 使用参数化的约简模型来加速复杂系统的优化问题与反问题的求解
- 选择和实现不确定性量化技术对受几何/材料随机变动影响的复杂动态系统进行随机仿真

选课要求：数值分析（线性代数、微分方程知识），使用 Matlab 或其他科学计算编程语言的基础知识。

本课程是目前 MIT 开设的面向一年级研究生的一门课程的浓缩版本，每届有来自包括电子/电气工程、计算机、力学、土木、经济、工业工程、生物医药等 12 个系的 60~80 学生选课。课程选取的实例来自广泛的学科领域，例如，包括让学习供应链和经济的学生都感兴趣的对商品流和货币流建模的问题。

此外，本短期课程还在俄罗斯 SkolTech 大学和意大利 Politecnico di Milano 大学多次讲授，受到好评。

非常欢迎除信息学院以外专业的同学选课！

附课程教学大纲：（可能根据学生情况做调整）

- 1.课程简介 (1 学时)
- 2.典型工程问题的动态系统建模 (4 学时)
 - 2.1 来自电机、力学、材料、土木与生物医学工程的问题
 - 2.2 源自动态系统网络的装配模型
 - 2.3 源自偏微分方程求解器的装配动态系统模型
- 3.动态系统建模的基本数值仿真技术 (4 学时)
 - 3.1 线性系统与非线性系统的稳态分析
 - 3.2 动态系统模型的时域仿真
 - 3.3 物理动态系统的重要性质（如稳定性、无源性）
- 4.线性动态系统的压缩 (4 学时)
 - 4.1 线性时不变(LTI)系统的压缩
 - 4.2 使用投影方法压缩线性时不变系统
- 5.非线性动态系统的压缩 (1 学时)
 - 5.1 简介、例子与定义
 - 5.2 弱非线性动态系统的约简(Volterra 序列)
 - 5.3 轨道分段线性方法(TPWL)+模式匹配(Moment matching)约简
 - 5.4 轨道分段线性方法(TPWL)+均衡实现(TBR)约简
 - 5.5 根据输入输出数据生成紧凑动态模型
- 6.参数化动态系统的压缩 (2 学时)
 - 6.1 目的与问题分类
 - 6.2 参数化线性动态系统的压缩
 - 6.3 带非线性参数依赖的非线性模型压缩
 - 6.4 使用参数化动态系统压缩建模的应用例子

主讲人简介：

Luca Daniel is a Full Professor in the Electrical Engineering and Computer Science Department of the Massachusetts Institute of Technology (MIT). Prof. Daniel received the Ph.D. degree in Electrical Engineering from the University of California, Berkeley, in 2003. Industry experiences include in 1998, HP Research Labs, Palo Alto, and in 2001 Cadence Berkeley Labs. Dr. Daniel research interests include development of integral equation solvers for very



large complex systems, stochastic field solvers for large number of uncertainties, and automatic generation of parameterized stable compact models for linear and nonlinear dynamical systems. Applications of interest include simulation, modeling and optimization for mixed-signal/RF/mm-wave circuits, power electronics, MEMs, nanotechnologies, materials, MRI machines, and the human cardiovascular system. Prof. Daniel has received the 1999 IEEE Trans. on Power Electronics best paper award; the 2003 best PhD thesis awards from both the Electrical Engineering and the Applied Math departments at UC Berkeley; the 2003 ACM Outstanding Ph.D. Dissertation Award in Electronic Design Automation; 5 best paper awards in international conferences and 9 additional nominations; the 2009 IBM Corporation Faculty Award; the 2010 IEEE Early Career Award in Electronic Design Automation; and the 2014 IEEE Trans. on Computer Aided Design best paper award.