

麻省理工 EECS (3) :

## 信息与决策系统实验室 (LIDS)

临菲信息技术港

本文介绍麻省理工学院(MIT)的信息与决策系统实验室(LIDS, Laboratory for Information and Decision Systems)，包括发展历史、研究领域、研究方向和研究小组。

本文以 LIDS 网页最新内容为基础。

### 1 概要

麻省理工学院电气工程与计算机科学系 (EECS) 设有 4 个实验室，分别是：

- 计算机科学与人工智能实验室 (CSAIL)
- 信息与决策系统实验室 (LIDS)
- 微系统技术实验室 (MTL)
- 电子研究实验室 (RLE)

本文介绍信息与决策系统实验室 (LIDS)。

信息与决策系统实验室 (LIDS) 是麻省理工学院最古老的实验室，在其漫长而丰富的历史中，其规模不断扩大，并多次改名。纵观其历史，LIDS 一直处于相关领域的前沿，包括：电信、信息技术、汽车工业、能源、国防和人类健康。以创新为基础，并在协作氛围的支持下，不断突破传统界限而取得突破。

LIDS 现任实验室主任是 John N. Tsitsiklis, EECS 系的克拉伦斯·J·勒贝尔教授 (Clarence J Lebel)。

John N. Tsitsiklis 主要讲授随机系统和最优化。著作



“Introduction to Probability, 2nd ed., 2008 (with D. Bertsekas)” 被译为中文和希腊文出版。Tsitsiklis 的研究兴趣在系统、优化、控制等研究领域，由于“对大型动态和分布式系统中优化理论和应用的贡献”，获得了 2018 年 IEEE 控制系统奖。

John N. Tsitsiklis 于 1958 年出生在希腊，他的数学学士学位（1980 年）、电气工程学士学位（1980 年）、硕士学位（1981 年）和博士学位（1984 年）都在麻省理工学院获得。

## 2 发展历史

LIDS 实验室的发展历史，在一定程度上反映了电子工程技术的发展历史。

### • 20 世纪 40 年代到 50 年代

1940 年，戈登·布朗（Gordon Brown）教授建立了**伺服机构实验室**（Servomechanism Laboratory），那时，反馈控制和伺服机制是重要的学科，最初是由军事需求驱动，后来由工业自动化需求驱动，作用巨大。

### • 20 世纪 50 年代

1959 年，该实验室改名为**电子系统实验室**（ESL, Electronic Systems Laboratory），反映了当时研究项目的进展，并认识到控制、信息和计算领域是密不可分的。

### • 20 世纪 60 年代

以状态变量模型为基础、涵盖最优控制新兴领域的现代控制理论，并快速发展。

### • 20 世纪 70 年代

认识到信息、决策和控制的方法和视角的广泛性，随着几年研究领域的扩展，实验室于 1978 年更名为**信息和决策系统实验室**(LIDS, Laboratory for Information and Decision Systems)。

### • 20 世纪 80 年代

#### 理论与教学

通信网络、优化、非线性估计、统计信号和图像处理等方面取得重大进展；众多有影响力的教科书，包括 Bertsekas 和 Gallager 的《数据网络》，Oppenheim（奥本海姆）和 Willsky 的《信号和系统》。

#### 成立智能控制系统中心

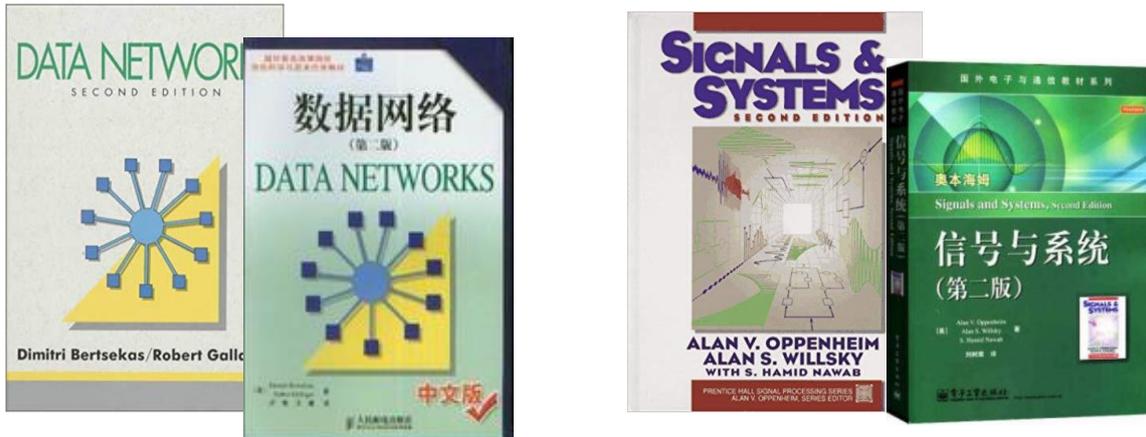
在美国陆军的资助下，与布朗大学和哈佛大学共同致力于推动信息和决策科学的进展。

## 鲁棒控制与控制系统设计

引发了鲁棒控制（robust control）新兴领域和自适应控制进步的开创性理论工作；控制设计和大规模优化的数值算法取得重大进展。

## 应用

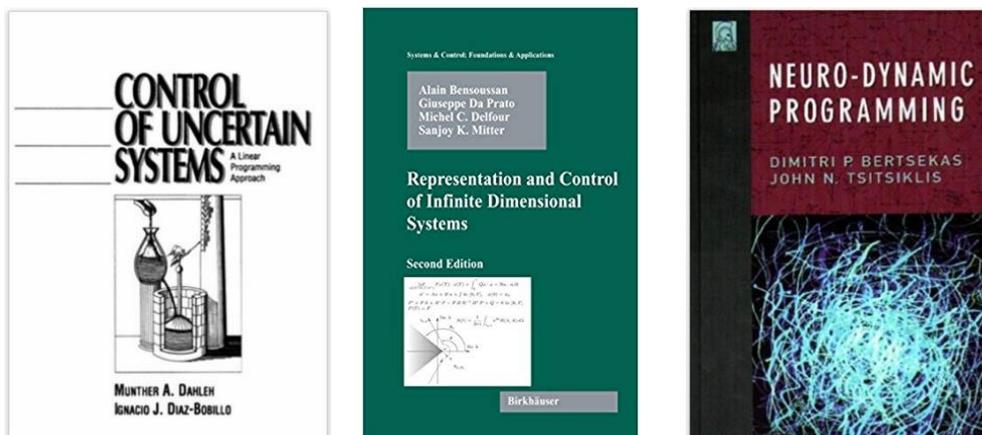
应用范围不断扩大，包括交通系统和军事指挥控制系统中的分布式控制和事件检测。



## • 20 世纪 90 年代

### 理论与教学

鲁棒控制，辨识，无线网络，优化。教材包括：《不确定系统的控制：线性规划方法》（Dahleh and Diaz-Bobillo），《无穷维系统的表示与控制》（Bensoussan, Da Prato, et al.），《神经动态规划》（Bertsekas and Tsitsiklis）。



### 神经动态规划

广泛应用于大规模动态优化的方法。

### 发展和应用

编码、信息论、大规模统计推断和估计。应用扩展到包括遥感数据同化，汽车控制和飞行器自主控制。

- 2000 年代

### 理论与教学

新课程：推理和学习、网络编码和网络。继续发展主导教科书，包括《概率论导论》(Bertsekas and Tsitsiklis)。

### 通信与机器学习

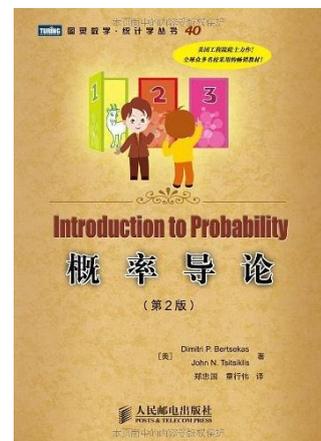
发展网络编码、信息论、宽带通信系统、网络消息传递算法和机器学习。

### 应用开发

对等网络、传感器网络信息融合、多目标跟踪算法以及卫星和光网络。

### 扩展研究

嵌入式控制系统的设计和分析、自然语言处理、社会网络分析、网络化动态系统 (networked dynamical systems) 和网络博弈 (network games)。



## 3 研究领域

LIDS 的研究虽然基于某些既定学科，但主要是多学科性质。它还涵盖了从基础研究、新方法到具有重大意义的实际应用。

### 核心工程学科

LIDS 的大部分研究都围绕以下核心学科展开：



**Laboratory for Information and Decision Systems (LIDS)**

LIDS develops novel analytical methodologies and tools for system modeling, analysis, design, and optimization, as well as the adaptation and application of these methods to physical and man-made systems.

[LIDS web site](#)



**信息与决策系统实验室 (LIDS)**

LIDS 发展了系统建模、分析、设计和优化的新分析方法和工具，以及将这些方法应用于物理和人造系统。

[LIDS web site](#)

- 系统、网络和控制
- 通信、信息传输和网络
- 推理与统计数据处理

## 基本方法

LIDS 研究依赖于多个数学学科提供的分析基础，例如概率和统计、动态系统以及优化和决策理论，并且为推进这些基础朝着新方向 and 解决新出现的工程问题努力。

## 应用领域

LIDS 的研究涉及并受到广泛的挑战，包括新兴应用、关键需求和技术进步等，其领域包括：

- 生物系统和生物医学数据分析
- 无人自治系统的协调
- 能源信息系统
- 情报、监视和侦察（ISR）系统
- 地球科学大尺度资料同化
- 网络调度和路由
- 传感器网络
- 社会网络分析与表征
- 超宽带和其他新兴通信技术

## 4 研究方向

### 系统、网络和控制（Systems, Networks, and Control）

从发展历史上看，LIDS 的思想根源在于系统和控制理论领域。该领域的最初重点是线性、非线性微分或差分方程描述的系统建模、分析和反馈控制设计，特别强调鲁棒性问题，LIDS 在这方面发挥了先锋作用。最近，重点转向了复杂、分布式和网络化系统。驱动这一领域的典型问题源于此类系统的高维性、离散和连续动力（混合系统）的同时存在、物理系统与人类或软件之间的相互作用，以及为决策目的对信息进行量化。

当前和未来研究的一些重要方向包括：

**简化模型推导的方法学。**一方面是结构良好且足够低的维度，以便易于处理，另一方面，保持对实际动力学的忠实，并捕捉到感兴趣的基本特征。这种活动要么是由原始的高维模型驱动，要么是由原始数据驱动（在后一种情况下，与推理领域有明显的协同作用）。这种方法学研究多种领域的工作密切相关，例如，电路分析与设计、系统生物学、动画等。

**传统随机控制方法的扩展。**依赖对系统状态有限但必要的“特征”的近似，来处理高维系统。LIDS 在近似动态规划（及其对应的“强化学习”）的发展中起到了重要作用。

**发展新的、易驾驭的方法来处理非线性或混合系统。**特别强调算法问题以及验证方法。

**理解经济理论（特别是博弈论和机制设计）与以下问题之间的关系：**（i）研究能够诱导用户产生社会期望行为的激励系统，（ii）不同定价机制的影响，以及（iii）不同市场结构的影响。这些问题来自拥塞控制研究以及复杂社会网络的研究。

**信息网络与控制理论的相互作用。**一方面，控制理论为网络的控制提供了见解和工具；另一方面，对网络的控制存在着若干挑战，例如在分布式和延迟信息情况下的反馈控制操作。事实上，控制理论与通信的融合是从电子系统实验室（ESL）向信息和决策系统实验室（LIDS）过渡的一个关键特征；这种信息网络与控制理论的融合，随机模型和基于优化的资源分配方法就是代表。

**用于处理分布式、多代理、移动系统的方法，通过有限的信息交换（可能在不可靠的通信网络上）实现所需的协作行为。**在这一主题中，LIDS 在过去发挥了主导作用，并与推动该领域发展的各种应用领域一起继续发挥着非常强大的作用。

**信息物理系统（CPS, Cyber-Physical Systems）基础理论。**该领域强调实际物理过程与信息决策网络层之间的交互作用。这两层的接口建模在许多应用（如能源系统、无人驾驶汽车）中发挥关键作用。该领域的研究包括开发计算效率高的混合系统验证算法，开发在物理和动态约束下解决组合优化问题的工具，以及解决能够很好地处理中断的可重构系统。

## **通信、信息传输和网络（Communications, Transmission of Information, and Networks）**

LIDS 在通信、信息传输和网络领域的研究，集中在两点：一是性能问题，例如，性能极限和寻求接近最优的方法；二是可扩展性，例如，随着网络规模的增加，信息和算法的有效性。其范围很广，包括：

**物理层问题。**无线传输技术、无线网络中的资源分配、有线交换和调度，以及信息论、编码理论和解码方法，等。

**基于随机网络理论和优化理论的信息传输问题。**例如，路由，拥塞控制和网络管理。

**应用和服务问题。**例如，网络经济学（主要基于博弈论），自组织网络，传感器网络，对等网络，以及对网络的反馈控制。

通信、系统和网络方面的一些最令人兴奋的研究，跨越了传统的学科界限。例如：

**经济学理论**（尤其是博弈论和机制设计）：同上面“系统、网络和控制”相应部分。

**系统和控制理论的相互作用。**类似上面“系统、网络和控制”中的“信息网络与控制理论的相互作用”部分。

**网络科学。**一门新兴的学科，通过结合图论、应用概率论、统计物理学、经济学和博弈论等工具，研究自然或工程网络的结构和功能。

以上这些方面的研究大多是方法论的，但也包括一些重要的应用。

## **推理与统计数据处理（Inference & Statistical Data Processing）**

LIDS 在估计、统计和学习领域的研究，源于动态系统。例如，对动态系统状态的估计，或对此类系统的动态模型的辨识。虽然这些仍然是 LIDS 的重要工作内容，但现在的范围要大得多，其重点是：从复杂和多样的数据来源中提取关于复杂现象的信息，对这些现象的结构进行建模和学习，随后将所获得的信息用于估计、优化和控制。

此外，为了响应包括无线网络和传感器网络在内的使能技术，LIDS 的研究还解决了在功率和带宽有限的网络中实现分布式的挑战。在 LIDS 的许多研究中，一个共同的主题是，开发和分析能够很好地扩展到大规模问题的算法，以及理论保证和性能界限。

当前或未来工作的一些核心方法学问题和挑战包括：

**发展大数据集和高维中等数据集情况下的识别和利用结构的方法**，这些数据集由高维数据现象组成，这些现象可以在不同的粒度级别上描述（多尺度和/或多物理模型）。

**发展图模型推理方法**，以及对现有一些理解得很差的方法的改进，例如，置信传播，以及与统计力学的交叉。

**发展压缩信息的方法**，例如，结合数据融合的压缩、图像和视频压缩、压缩感知、决策导向压缩等。

**发展“主动推理”方法**，包括静态推理或“在线学习”中测量模式的主动选择。

除了上面以外，其研究还涉及到多种应用，从地球科学到传感器网络。

## 5 实验室和研究小组

在 LIDS 中，有几个不同的实验室和小组，各自的工作集中在一个领域内的特定问题。这些小组成员包括 LIDS 以及来自 MIT 其它实验室和部门的研究人员、博士后和学生。

### 航天控制实验室 (ACL, Aerospace Controls Laboratory)

研究与飞机、航天器和地面车辆的自主系统和控制设计相关的课题。理论研究领域包括：不确定性决策；路径规划、活动 (activity) 和任务分配；估计和导航；传感器网络设计；鲁棒控制、自适应控制和模型预测控制。ACL 的一个关键部分是实时室内自主车辆测试环境 (RAVEN, Real-time indoor Autonomous Vehicle test ENvironment)，这是一个独特的实验设备，它使用 Vicon 运动捕捉传感，实现直升机和飞机特技飞行控制器的快速成型；多架直升机的鲁棒协调算法；以及针对室内飞行的基于视觉的传感算法。



Aerospace Controls Laboratory

### 通信和网络研究组 (CNRG, Communications and Networking Research Group)

CNRG 研究的重点是无线、卫星和光网络通信网络体系结构和协议的设计和分析，主要目标是设计具有成本效益、可扩展性和适应高数据速率和可靠通信新需求的网络体系结构。该小组研究的一个重要方面是开发跨协议栈的多层优化的体系结构和算法，其研究跨越了学科界限：结合了网络优化、排队论、图论、网络协议和算法、硬件设计和物理层通信等技术。

#### ◇ 无线网络研究

- 无线网络的有效控制
- 最优网络控制的迁移方法
- 降低无线网络的控制开销
- 无线 mesh 网络的保护与恢复
- 增强电磁频谱接入以实现实时监控

#### ◇ 光网络研究

- 光旁路机制
- 跨层生存能力

#### ◇ 空间网络研究

### 数据人工智能组 (DAI, Data to AI Group)

DAI 小组聚焦于如何建立与人类一起工作的大规模人工智能系统。这些系统必须不断地从数据中学习，从中产生预测，并与人类的试图和互动无缝地结合起来。该小组开发基本的算法、抽象和系统，使这三个任务能够规模化进行。其工作处于统计与机器学习、人类数据交互和分布式系统的交叉点。DAI 开发的算法、系统和开源软件在金融、医疗、网络安全和教育行业获得了广泛应用。

### 电能系统组 (EESG@MIT, Electric Energy Systems Group)

EESG@MIT 研究与电能系统建模和网络（控制、通信）设计相关的课题，其理论基础是：社会生态能源系统（SEES）作为信息物理系统（CPS）的统一建模，以及称为“动态监测和决策系统”（DyMonDS）的网络设计。

### 推理与随机网络小组 (ISNG, Inference and Stochastic Networks Group)

ISNG 的主要研究目标是设计实用的算法解决方案，从理论上理解大型网络和大规模统计推理中出现的问题。其应用包括无线网络、Internet 路由器、社交网络以及复杂电路中的统计推断，收益管理，大型网络系统中的故障检测。这种跨学科的研究，建立在应用概率、随机网络、信息论、人工智能和算法的进步之上。

### 随机系统组 (SSG, Stochastic Systems Group)

SSG 由 Alan S.Willsky 教授和计算机科学与人工智能实验室（CSAIL）的首席研究科学家 John Fisher 博士领导。Alan S.Willsky 已退休，奥本海姆《信号与系统》合著者之一。该小组除了 LIDS 实验室的人员外，也有来自 CSAIL 实验室的一些博士后研究人员和科学家。SSG 还与 MIT 其它几个学术部门、实验室和中心，以及其别的大学的同事和学生进行合作研究。

SSG 的研究重点是基于统计的方法，以解决从信号、图像和其它数据源中提取和分析信息的复杂问题。其工作从基础数学理论扩展到具体的应用领域。研究资金来源包括空军科学研究办公室、陆军研究办公室、MIT 林肯实验室和荷兰皇家壳牌公司。

复杂图形模型的统计推断和信息融合是 SSG 的主要研究方向之一。该研究不断产生新的模型以及信号和图像处理算法，其应用包括计算机视觉、地球物理、多传感器跟踪多辆汽车等。

最新的进展之一是以多分辨率或颗粒度表示复杂现象的新模型。SSG 开发的方法正被包括壳牌石油公司、林肯实验室和 BAE 系统公司在内的研究或者工程组织所采用。SSG 的这些研究同时也受到了国际社会的广泛关注。

SSG 的另一个重点是曲线演化算法，用于图像分割和从复杂的多模态数据中提取几何体。最近的成果包括机器学习方法，在学习分割区域之间的统计差异的同时进行图像分割，跟踪动态演变的形状，并通过基于曲线的蒙特卡罗模拟方法捕捉提取几何中的固有不稳定性。这些方法已应用于医学图像分析和地球物理制图。SSG 在这方面的研究也得到了相当大的认可，包括最近的最佳论文奖。

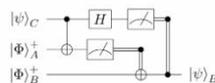
机器学习中越来越重要的研究是提取复杂现象的统计模型，通常是图形形式的。这项研究的一部分是研究观察数据复杂行为的“隐藏”解释。一个主要的新趋势是发展所谓的非参数方法来提取动态演化现象的行为模型。

## 无线信息与网络科学实验室 (WINSLab, Wireless Information and Network Sciences Laboratory)

数学和统计理论在通信、检测和估计问题中的应用。其研究包括发展基本理论、设计算法和对现实问题进行实验。当前的研究课题包括位置感知网络、时变信道、多天线系统、超宽带系统、光传输系统和空间通信系统。



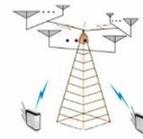
Network Localization and Navigation  
网络定位与导航



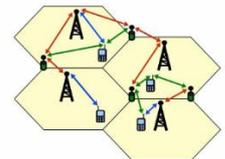
Quantum Information Science  
量子信息科学



Ultra-Wideband (UWB) Communications  
超宽带通信



Adaptive Diversity Communications  
自适应分集



Interference Engineering  
干扰管理





临菲信息技术港



临菲信息技术港公众号



临菲学堂