

论文写作指导

(How to Write a Qualified Scientific Paper)

第四讲：从问题建模到理论结果阐述

王闻博 (wenbo_wang@kust.edu.cn)

课件制作：黄英博、杨春曦、王闻博

论文写作指导课题组
机电工程学院
昆明理工大学

2023 年 03 月 20 日

Section 1

提纲

提纲

提纲

前课回顾

第四讲 Part I: 问题描述与建模

系统建模简介

案例分析

第 I 部分小结

第四讲 II: 理论结果阐述

公式写作的注意事项

“主要结果”行文中的要点

第 II 部分小结

Section 2

前课回顾

课程目标

- **课程目标 (Goal)** : 学习学术期刊论文撰写的规范和方法
 - 掌握学术论文写作的基本常识和规范.
 - 学习学术论文的基本范式和写作技巧.
 - 学习相关写作辅助工具的使用方法.
 - 了解学术论文投稿流程及相关注意事项.
- 参考教材和资料
 - (美) 凯特·L·杜拉宾著, 雷蕾译, 《芝加哥大学论文写作指南 (第八版)》. 北京: 新华出版社, 2015, ISBN:978-7-5166-1599-7.
 - (美) 张俊东、杨亲正著, 《SCI 论文写作和发表: You Can Do It (第二版)》. 北京: 化学工业出版社, 2016, ISBN:978-7-122-26238-3.
- 线上同步
 - 腾讯会议号: 566-9282-5223.
 - 地址: <https://meeting.tencent.com/dm/Hjkr5Nig2309>.
- 任课教师联系方式: wenbo_wang@kust.edu.cn

课程安排和考查形式

- 第一周：科技论文总体结构串讲.
- 第二周：论文标题、摘要的写作规范.
- 第三周：引言的写作.
- **第四周：从问题建模到理论结果阐述.**
- 第五周：仿真或实验.
- 第六周：结论、参考文献与投稿须知.
- 第七周或第八周：开卷考试.
 - 允许带除电子设备或有网络功能设备外的一切资料.

前课要点

- 严守学术道德与规范.
- 科研活动的创新模式.
- 一般的文献阅读方法.
- 学术论文的宏观框架结构.
- 学术论文标题撰写要点和模板.
- 学术论文摘要结构和模板.
- 引言的作用、结构和模板.

Section 3

第四讲 Part I: 问题描述与建模

回顾第一讲中提到的论文基本结构

理论类型论文的基本结构

- Title 标题
- Abstract 摘要
- Introduction 引言
- Related work 相关工作/小综述
- Problem formulation 问题建模
- Main results 主要结果
- Simulation/Application 仿真/实验
- Conclusions 结论
- Acknowledgements 致谢
- References 参考文献

实验类型论文的基本结构

- Title 标题
- Abstract 摘要
- Introduction 引言
- Related work 相关工作/小综述
- Problem formulation 问题描述
- Example settings 实验设置
- Results and discussion 结果与讨论
- Conclusions 结论
- Acknowledgements 致谢
- References 参考文献

Subsection 1

系统建模简介

前置问题：模型是否是一切研究的起点？

- 在实验科学领域（生命科学、实验物理/化学）
 - 以实验的设计、实验数据的收集和分析作为起点.
 - 导向**理论模型、统计模型或计算模型**.
- 工程领域
 - 以实践需求、功能性要求或可行性考虑为起点.
 - 一般导向**理论模型或计算模型**.
- 社会科学领域
 - 可能以社会问题数据收集和分析为起点.
 - 导向**社会科学理论或模型**.

什么是系统建模?

- 广义的“模型”包括: 物理模型、数学模型、结构模型和仿真模型.
- 数学建模: 对被研究的对象进行量化描述的过程.

数学模型是现实世界理想化和简化了的抽象表示

① 机理建模 (分析建模)

- 当系统机理能够被有效量化描述时.
- 是**面向对象**的方法, 从实体、关系和属性等方面着手描述问题.
- 根据系统自身运动规律的分析, 获得较高精度、较强适应性的模型.
- 机理建模适用于**仿真先于实物系统**实验构建的情况.

② 实验建模 (演绎建模)

- 当**系统复杂**, 研究者无法构建一个合理的模型来解释系统行为或者被观测到的数据.
- 是**面向数据**的方法, 从数据的特性、分布和关联等方面描述问题.
- 通过实验收集真实系统数据、分析系统输入输出间的关系.
- 通过模型假设、分析和检验, 选择合适的模型和参数使模型输入输出拟合系统的真实输入输出.

部分工程领域常见的数学建模（机理建模）方法

- 基于运筹学和优化理论的方法.
 - 规划理论：线性规划，非线性规划，整数规划，动态规划等.
 - 决策理论.
- 基于图论的方法.
- 基于排队论的方法.
- 计量经济学相关方法
 - 基于博弈论、合同理论、拍卖理论等方法.
- 基于动力学系统的方法
 - 微分方程、差分方程、变分法等.
- 基于随机过程和概率论的方法.
 - Markov 过程方法, Stochastic Geometry, Bayesian 网络等.

论文写作中对系统模型描述的一般性要求

- 建模过程要求逻辑严密.
- 使用行业内通行的数学表达习惯和语言描述习惯.
 - 扩展阅读 (课件附件): Jan Nekovar, Mathematical English (a brief summary), Universite Paris 6.
- 避免“干巴巴”的数学表达式, 对每个式子有适当的解释.
- 避免突兀的数学符号, 对在模型 (数学表达式) 中首次出现的符号做出解释.
- 上下文中符号表达要统一, 避免产生歧义.
- 部分受现实约束的参数取值、公式简化导致的模型变化需要做特别说明.
- 当模型结构过于复杂时, 可以用框图的方式表明其内在逻辑关系.

Subsection 2

案例分析

建模方法 1 (实例 1): 勾连多个现有模型得到新的机理模型

- 出处: J. Huang, et. al, "Event-Triggered State Estimation With an Energy Harvesting Sensor," in IEEE TAC.

II. PROBLEM FORMULATION

We consider a remote event-triggered estimation scheme in Fig. 1. Consider a discrete-time linear time-invariant process driven by white noise:

研究对象的基础模型I

$$x_{k+1} = Ax_k + w_k, \quad (1)$$

where $x_k \in \mathbb{R}^n$ is the state, and $w_k \in \mathbb{R}^n$ is zero-mean Gaussian with covariance $Q > 0$. The initial value x_0 is Gaussian with mean $\hat{x}_0^- = \mu_0$, and covariance P_0^- . The state information is measured by an energy harvesting sensor, which communicates with the state estimator through a wireless channel, and the output equation is

符号解释

$$y_k = Cx_k + v_k, \quad (2)$$

研究对象的基础模型II

实例 1: 勾连多个现有模型得到新的机理模型 (续)

- 接上页内容: 加入“自制元素”——一个泊松过程表达的无线能量收集过程 (引入能量水平约束).

where $v_k \in \mathbb{R}^m$ is zero-mean Gaussian with covariance $R > 0$. In addition, x_0 , w_k , and v_k are uncorrelated with each other. Let ρ_k denote the amount of energy harvested at time k , and we assume ρ_k is an i.i.d. Poisson process with parameter λ such that

$$\Pr(\rho_k = t) = \frac{\lambda^t \exp(-\lambda)}{t!}. \quad (3)$$

This assumption is based on the fact that energy harvesting modules usually contain small submodules harvesting energy independently, where the net energy harvested can be modeled as a binomial process,

实例 1: 勾连多个现有模型得到新的机理模型 (续)

- 接上页内容 (略去部分内容): 得到“自制”决策变量.

At each time instant k , the sensor produces a measurement y_k and generates a random variable ζ_k , which is uniformly distributed over $[0, 1]$. The scheduler of the sensor tests an energy-dependent stochastic event-triggering condition and the observation y_k is transmitted if and only if $\gamma_k^y = 1$, namely

$$\gamma_k^y = \begin{cases} 0, & \text{if } \zeta_k \leq \beta^z \exp(-y^\top \Pi y / 2), \\ 1, & \text{if } \zeta_k > \beta^z \exp(-y^\top \Pi y / 2), \end{cases}$$

where $0 < \beta < 1$ and $\Pi > 0$. In other words, we have

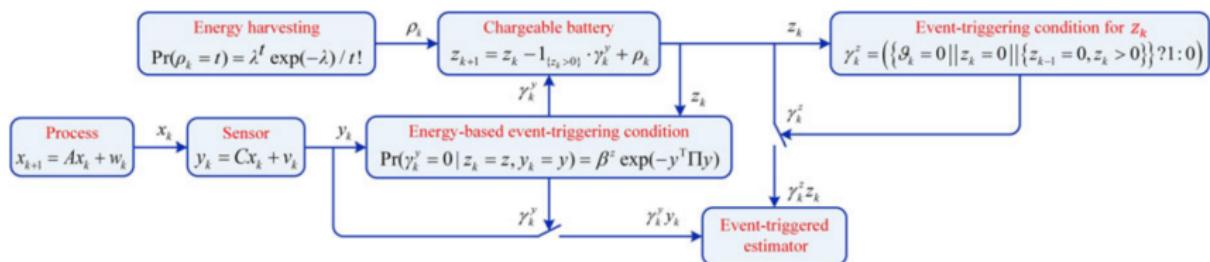
$$\Pr(\gamma_k^y = 0 | z_k = z, y_k = y) = \beta^z \exp(-y^\top \Pi y / 2). \quad (5)$$

变量说明

In (5), β is a control parameter which decides how the energy level influences the event-triggering condition, e.g., if β is very close to 1,

实例 1: 勾连多个现有模型得到新的机理模型 (续)

- 最后: 给出系统框图 (Block Diagram) 说明系统控制/信息流
 - 框图上层: Poisson “充电” 过程对传感器电池电量的影响.
 - 框图中层: 传感器对状态信息的监测过程.
 - 框图底层: 由传感器根据电池电量决定是否发送传感器信号.



实例 1 总结

- 勾连三个基础模型
 - (1) 带加性噪声的待估计状态 x_k 本身的线性模型 Eq.(1).
 - (2) 经典无线信号 $x_k \rightarrow y_k$ 传输模型 Eq.(2).
 - (3) 随机过程表达的无线能量收集模型 Eq.(3).
- 引入随机传输开关 (Binary) 决策变量 γ_k^y .
 - 拓展思考: 如何精细化和“本地化”一个模型?
- 待解决问题:
 - 在随机开关变量影响下, 信号 x_k 的最小二乘估计的形式是什么?
 - 能量收集过程是如何影响传感器和信号估计器之间的信号传输的?
 - “待解决问题”是为衔接后文“理论结果”的必要铺垫.

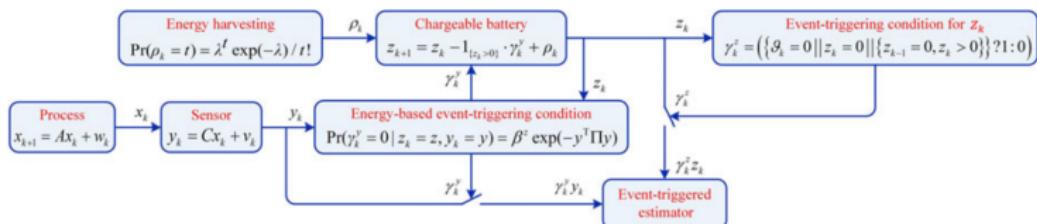
从实例 1 学习写作细节

- 公式是一个完整句子的组成部分, **注意标点符号**
 - 公式后接续对公式和变量的解释时, 公式结尾加逗号 (如 Eq.(1)).
 - 一个公式由多个条件表达式组成, 每个子式结尾加逗号 (如 18 页 γ_k^y 表达式).
- 公式说明句式里, **用 where 而不是 in which 引领分句**
 - 每个逗号分隔一个变量解释 (参见 Eq.(1), (2) 的解释说明段).
 - 如果被解释变量太多, 建议把一个长从句拆成多个小句.
 - 统一使用**第三人称语态**.
- 使用单字母定义变量.
 - 例如, 不要把 “Running Time” 定义为 RT .
- 务必保证变量只有一层上标和下标.
 - 举例: γ_k^y (✓) vs. $\gamma_{k_i}^{y_j}$ (不推荐).

从实例 1 学习写作细节 (续): 图形的使用

- 系统框图 (Block Diagram, 参见实例 1 中 Fig.1)

- 从构建和功能角度出发, 描述系统的组成和交互的图形表示方法.
- 用方块、菱形、线和箭头等基本图形表示一个系统的不同部分、组成和交互作用.
- 模块间连接用于描述处理、信息传递、交互流程等.

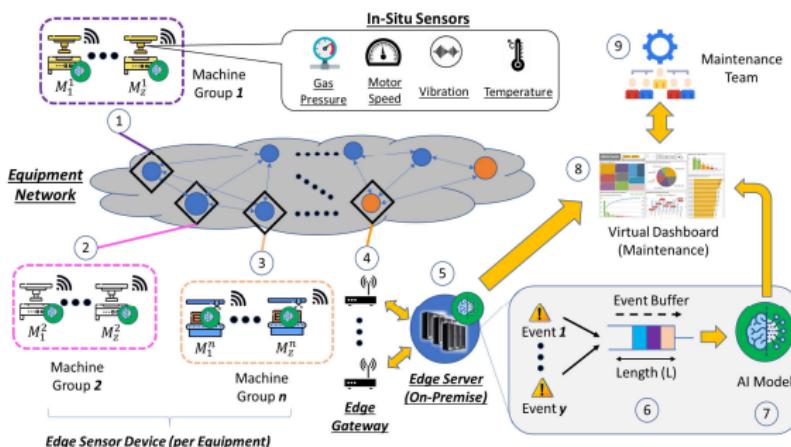


注: 本例中框图可能由Latex Tikz宏包生成.

图形的使用 (续)

● 系统流程图 (Flowchart)

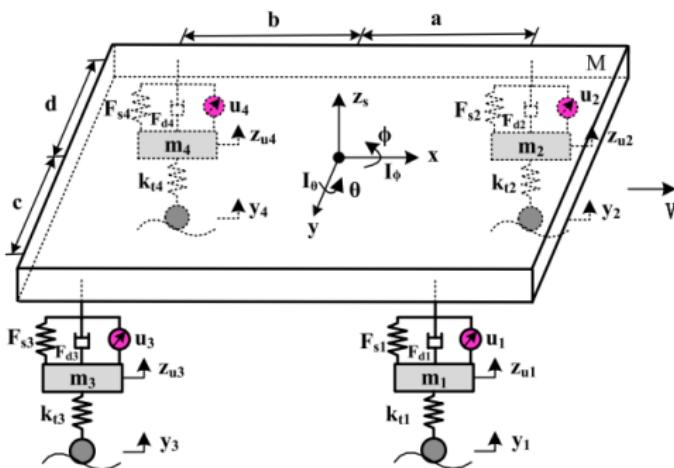
- 可以嵌入更直观的方法 (图形、照片) 描述系统的流程或过程.
- 通过不同的形状和箭头表示流程的不同部分和交互, 描述流程和过程的**各个步骤、时间顺序和逻辑关系**.
- 强调对流程和过程中各个步骤之间的关联和依赖性的描述.
- 举例: (来源) K. S-H. Ong, et. al, "Deep reinforcement learning based predictive maintenance model for effective resource management in industrial IoT," in IEEE IoTJ



图形的使用 (续)

- 系统示意图 (Illustration)

- 从整体和宏观视角为系统提供一般性的、静态的描述.
- 倾向定性描述, 更适用于描述系统各组成部分的结构关系、交互关系、运动方式等.
- 一般不用来描述信息流动或模块连通性等细节.
- 举例: (来源) J. Na, et. al, "Active Suspension Control of Full-Car Systems Without Function Approximation," in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics



建模方法 2 (实例 2): 从机理模型转化到规范化模型

- 出处: J. Na, et. al, "Active Suspension Control of Full-Car Systems Without Function Approximation," in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics.
- 从一般形式的微分方程组到状态方程.

The detailed mathematical model of the active suspension system shown in Fig. 1 can be developed as [10], [32]

$$\left\{ \begin{array}{l} M\ddot{z}_s = -F_{s1} - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} - F_{d1} \\ \quad - F_{d2} - F_{d3} - F_{d4} + u_z \\ m_1\ddot{z}_{u1} = F_{s1} + F_{d1} - k_{t1}(z_{u1} - y_1) - u_1 \\ m_2\ddot{z}_{u2} = F_{s2} + F_{d2} - k_{t2}(z_{u2} - y_2) - u_2 \\ m_3\ddot{z}_{u3} = F_{s3} + F_{d3} - k_{t3}(z_{u3} - y_3) - u_3 \\ m_4\ddot{z}_{u4} = F_{s4} + F_{d4} - k_{t4}(z_{u4} - y_4) - u_4 \\ I_{\phi}\ddot{\phi} = c(F_{s1} + F_{s3} + F_{d1} + F_{d3}) \\ \quad - d(F_{s2} + F_{s4} + F_{d2} + F_{d4}) + u_{\phi} \\ I_{\theta}\ddot{\theta} = b(F_{s3} + F_{s4} + F_{d3} + F_{d4}) \\ \quad - a(F_{s1} + F_{s2} + F_{d1} + F_{d2}) + u_{\theta}. \end{array} \right.$$

(1) 

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{1}{M} (-F_{s1} - F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} \\ \quad - F_{d1} - F_{d2} - F_{d3} - F_{d4}) + \frac{1}{M} u_z \\ \dot{x}_3 = x_4 \\ \dot{x}_4 = \frac{1}{I_{\phi}} [c(F_{s1} + F_{s3} + F_{d1} + F_{d3}) \\ \quad - d(F_{s2} + F_{s4} + F_{d2} + F_{d4})] + \frac{1}{I_{\phi}} u_{\phi} \\ \dot{x}_5 = x_6 \\ \dot{x}_6 = \frac{1}{I_{\theta}} [b(F_{s3} + F_{s4} + F_{d3} + F_{d4}) \\ \quad - a(F_{s1} + F_{s2} + F_{d1} + F_{d2})] + \frac{1}{I_{\theta}} u_{\theta} \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_7 = x_8 \\ \dot{x}_8 = \frac{1}{m_1} [F_{s1} + F_{d1} - k_{t1}(x_7 - y_1)] - \frac{1}{m_1} u_1 \\ \dot{x}_9 = x_{10} \\ \dot{x}_{10} = \frac{1}{m_2} [F_{s2} + F_{d2} - k_{t2}(x_9 - y_2)] - \frac{1}{m_2} u_2 \\ \dot{x}_{11} = x_{12} \\ \dot{x}_{12} = \frac{1}{m_3} [F_{s3} + F_{d3} - k_{t3}(x_{11} - y_3)] - \frac{1}{m_3} u_3 \\ \dot{x}_{13} = x_{14} \\ \dot{x}_{14} = \frac{1}{m_4} [F_{s4} + F_{d4} - k_{t4}(x_{13} - y_4)] - \frac{1}{m_4} u_4 \end{array} \right. \quad (5)$$

实例 2: 从机理模型到规范化模型 (续)

- (出处如前): 注意交代变换前和变换后模型的关系

To facilitate subsequent control designs, we first reformulate a full-car system (1) as a state-space model. Define the system states as $x_1 = z_s, x_2 = \dot{z}_s, x_3 = \phi, x_4 = \dot{\phi}, x_5 = \theta, x_6 = \dot{\theta}, x_7 = z_{u1}, x_8 = \dot{z}_{u1}, x_9 = z_{u2}, x_{10} = \dot{z}_{u2}, x_{11} = z_{u3},$ and $x_{12} = \dot{z}_{u3}, x_{13} = z_{u4}, x_{14} = \dot{z}_{u4}.$ Then the system (1) can

实例 2: 从机理模型到规范化模型 (续)

- (出处如前): 使用 Remark 总结模型变换的创新点

Remark 1: In most of the existing active suspension control designs, the forces of springs and dampers in the suspension models (4) and (5) are usually assumed as linear functions, and/or their dynamics are fully known [10], which are stringent and unrealistic in practical applications. To address this issue, the unknown nonlinear dynamics generated by the springs and dampers are considered in this article. More specifically, realistic forces embedded in Carsim are adopted in our case studies, whose generation models are unknown. This implies that the proposed control can cover more realistic applications, whilst requiring less information and reduced modeling effort in the control synthesis.

从实例 2 学习写作细节

- 模型转换的目的

- 使新模型可以归为某类我们熟悉（至少是形式上熟悉）的问题.
 - (举例) NP-Hard 性质的证明：所有关于 NP-Hard 问题的证明，都需要将原始问题化归到 Max-cut 等有限几类等价问题上.

- 对模型转换和符号变化作必要解释.

- 灵活使用 Remark 对模型的创新点加以概括或强调

- Remark 也可以用来进一步阐述研究动机（为后文的“理论结果”做铺垫）.

Subsection 3

第 I 部分小结

“问题建模”写作要点小结

- 建模过程要逻辑严密.
- 行文要求: 清晰 (逻辑清楚严密)、简洁、完整.
- 符号使用全文统一: 一个符号表示一个参数或变量, 符号第一次出现时要做说明.
- 适当采用 Remark, 突出问题建模中的创新点.
- 适当采用可视化的图例, 直观解释模型各部分之间的逻辑关系.
- 注意总结问题, 为后文提出解法做铺垫.

Section 4

第四讲 II: 理论结果阐述

写作要点总览

- 行文要求: 言简义明, 叙事逻辑清楚.
 - 数学符号一致、公式推导严谨、重要步骤明确.
 - 若繁琐的证明影响到叙述逻辑, 则把证明后置在附录中 (甚至其他来源的材料中).
 - 适当使用过渡句, 可以增强行文的逻辑清晰度.
 - 在引理、定理、推论、证明甚至算法伪代码后, 都可以适当使用 Remark.
- 理论规范性问题: 引理、定义、假设、定理、推论、证明.
 - 通常定义 (Definition)、假设 (Proposition) 和引理 (Lemma) 放在定理 (Theorem) 之前, 为定理的证明 (Proof) 提供支撑.
 - 推论 (Corollary) 在定理之后, 用于推广定理或者阐述定理的特例.
 - 定理等的写法有一定的规范性.
 - Remark 不出现在证明的过程中.

Subsection 1

公式写作的注意事项

公式写作的注意事项

干净、整洁、详细

对于审稿人和读者理解文章内容至关重要，也对于工作的创新点有着良好的突出强调作用。

- 解释公式中所有符号。
- 解释公式在上下文/研究语境中的意义，如物理意义。
- 使用本领域通用的符号表示变量。
- 符号使用全文统一，一个变量用且仅用唯一的符号表达。
- 嵌入在段落中的公式不超过一行。

公式写作的注意事项 (续)

- 公式和公式中变量的解释

- (再次强调) 公式是上下文中一个完整句子的一部分.
- 在公式下方不分段解释上方公式中的符号时, 公式完结用逗号标记.
- 引导词 where: where X represents/is/denotes/refers to Y (where **首字母不大写**).
- 引导词 with: with X being Y (**首字母不大写**) .

- 公式撰写时的一些注意事项

- 尽量采用被动形式, 不代表主动形式不可以采用.
- 尽量少用第一人称 We, 不代表不可以采用.
- 尽量避免使用第三人称 One 指代 “公式推导者”, 如无法避免请用 We.
- 公式的描述要尽可能详细.

叙述公式推导过程中的注意事项

● 叙述公式推导时常用的句法

- ① Based on/From X and Y, we can deduce/derive/obtain/achieve/yield that.
- ② The time derivate can be calculated as.
- ③ The derivative of xx can be calculated along with X as.
- ④ Then, X can be further written/rewritten/reformulated as.
- ⑤ Substituting/Invoking X into Y, we have/obtain.
- ⑥ Replacing X with Y, we have/obtain.
- ⑦ By integrating on both sides of the equation/inequality.

Subsection 2

“主要结果” 行文中的要点

定义和定理（引理等）的形式要点

- 一个有效的定义 (Definition) 包括
 - 术语: 要定义的概念或术语的名称.
 - 关键特征: 定义的内容, 通常说明该概念或术语的重要特征或性质.
 - 范围: 要定义的概念或术语的应用范围.
 - (举例) Potential Evolution Game: Consider a generalized evolutionary game $\mathcal{G} = \langle \mathcal{N}, \mathcal{M}, \mathbf{x}, F(\mathbf{x}) = [F_j(\mathbf{x})]_{j \in \mathcal{M}} \rangle$ with the vector of payoff function $F(\mathbf{x}) : \mathbb{R}_+^n \rightarrow \mathbb{R}^n$. \mathcal{G} is a full potential game if there exists a continuously differentiable function $f(\mathbf{x}) : \mathbb{R}_+^n \rightarrow \mathbb{R}$ satisfying $\frac{\partial f(\mathbf{x})}{\partial x_j} = F_j(\mathbf{x}), \forall j \in \mathcal{M}$.
- 一个有效的定理 (Theorem, 引理、推论同) 包括
 - 前提: 给出定理成立的前提条件, 包括已知的公理、定义、假设等.
 - 结论: 给出定理的结论, 即我们在这个条件下所能得出的具体结论.
 - 证明: 逻辑上使前提推导出结论.

引理、定理与证明的前后逻辑

- 引理 (Lemma) 的作用
 - 他人的理论：当作者进行理论推导时，需使用已有的特定理论或方法时，可将这些理论以“引理”的形式给出。
 - 作者的里程碑：当证明过于冗长，作者可以将理论中间部分的重要证明节点提炼为“引理”形式给出。
 - 引理是定理证明过程中的中间产物。
- 定理 (Theorem) 的作用
 - 作者期望向读者展示的主要结论。
 - 引理需要证明或给出出处。
 - 定理均需要证明。
 - 受篇幅限制，无法给出对某引理的全部证明时，可采用以下技巧
 - The detailed proof **can be found/is similar to Theorem Y in [X]**。
 - 具体的证明可参考文献 [X]/具体的证明方法与文献 [X] 中定理 Y 的证明相同。
 - 引理/定理必须与证明匹配：Lemma-Proof 或 Theorem-Proof。

引理、定理与证明举例

- 来源: W. Wang, et. al, "Stackelberg Game for Distributed Time Scheduling in RF-Powered Backscatter Cognitive Radio Networks," in IEEE Transactions on Wireless Communications.
- 定理 (Theorem)

- Theorem 1: The following properties hold with respect to the objective and constraint functions in ST k 's payoff optimization problem defined by (9):

P1: \mathcal{S}_k is convex and compact $\forall k \in \mathcal{K}^{\text{ST}}$, and for any feasible s_{-k}^{ST} , $\mathcal{S}_k(s_{-k}^{\text{ST}})$ is nonempty.

P2: $\forall k \in \mathcal{K}^{\text{ST}}$, the objective function $\theta_k(s_k, s_{-k}^{\text{ST}})$ given by (9) is a twice continuously differentiable (C^2) concave function with respect to s_k .

- 引理 (Lemma)

- Lemma 1: A joint follower strategy $s^{\text{ST},*}$ is a GNE of the follower sub-game \mathcal{G}^f if and only if it is a solution of the QVI problem $\text{VI}(\mathcal{S}^{\text{ST}}, F^f)$.
- Lemma 1 的证明: With **P1** and **P2** in Theorem 1, Lemma 1 immediately follows Theorem 3.3 in [22] Q.E.D.

小节 (Subsection) 之间的衔接

过渡段的写法要点

过渡段: 在小结开始处, 采用文字描述的方式向读者展示本小节的主旨, 即本节内容和目标.

● 写法模板

- In this section/subsection, we will...
- 在本节中, X 方法将被给出...

● 举例

- (小节题目: 3.22 预设瞬态性能能函数和和预备理论): 本小节介绍预设瞬态性能函数. 与文献 [82,135,136] 相似, 选取一个严格递减正函数 $\phi_i(t): \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$, 以实现对系统控制误差 x_1 的收敛速度、最大超调量和最大稳态误差的预先规定...
- (小节题目: 3.3 预设瞬态性能控制器设计): 本小节中, 将在不使用函数逼近器的情况下, 设计一类预设瞬态性能的非线性控制方法, 对车身垂直位移 x_1 进行有效控制, 且同时保证主动悬架系统的瞬态性能和稳态性能.

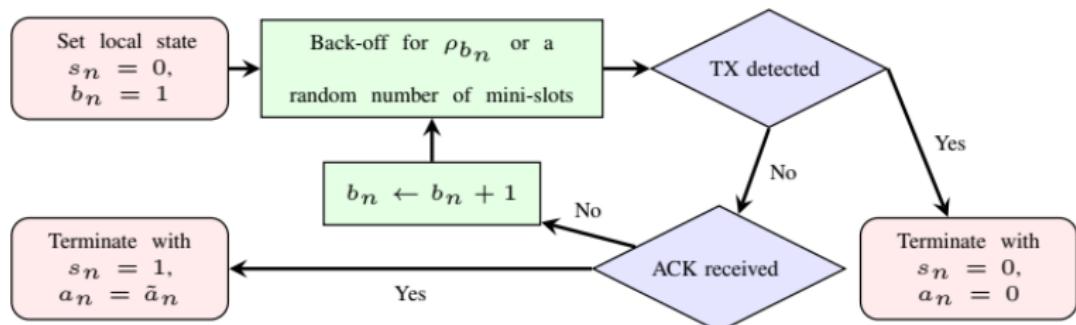
算法框图和伪代码的撰写

● 算法的必要组成部分 (以框图为例)

- **开始/结束模块**: 表示算法的开始与结束 (通常用圆角矩形表示).
开始模块以“开始/Start”的标签标记, 结束模块以“结束/end”的标签标记.
- **执行模块**: 表示算法中执行的操作 (通常用矩形表示). 执行模块以所完成的操作标记, 如 “With sample matrix X and Y , compute $H = (X^T X)^{-1} X^T Y$ ”.
- **判断模块**: 判断算法中某一条件是否满足 (通常用菱形表示). 判断模块以判断条件标记, 如 “If $\|x_{t+1} - x_t\| \leq \epsilon$ ”.
- **输出/输入模块**: 表示算法中输入和输出数据的操作 (通常用梯形表示). 二者分别用所对应的输入输出项标记.
- 模块之间的连接通常用箭头表示, 箭头的方向表示执行的顺序.

算法框图示例

- 一个输入/输出模块合并到开始结束模块的框图例子



算法伪代码示例

- 来源: 深度强化学习领域著名论文 “Soft Actor-Critic Algorithms and Applications”

Algorithm 1 Soft Actor-Critic

Input: θ_1, θ_2, ϕ

$\theta_1 \leftarrow \theta_1, \theta_2 \leftarrow \theta_2$ ▷ Initial parameters

$\mathcal{D} \leftarrow \emptyset$ ▷ Initialize target network weights

for each iteration **do** ▷ Initialize an empty replay pool

for each environment step **do**

$\mathbf{a}_t \sim \pi_\phi(\mathbf{a}_t | \mathbf{s}_t)$ ▷ Sample action from the policy

$\mathbf{s}_{t+1} \sim p(\mathbf{s}_{t+1} | \mathbf{s}_t, \mathbf{a}_t)$ ▷ Sample transition from the environment

$\mathcal{D} \leftarrow \mathcal{D} \cup \{(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}_t, r(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}_t), \mathbf{s}_{t+1})\}$ ▷ Store the transition in the replay pool

end for

for each gradient step **do**

$\theta_i \leftarrow \theta_i - \lambda_Q \hat{\nabla}_{\theta_i} J_Q(\theta_i)$ for $i \in \{1, 2\}$ ▷ Update the Q-function parameters

$\phi \leftarrow \phi - \lambda_\pi \hat{\nabla}_\phi J_\pi(\phi)$ ▷ Update policy weights

$\alpha \leftarrow \alpha - \lambda \hat{\nabla}_\alpha J(\alpha)$ ▷ Adjust temperature

$\bar{\theta}_i \leftarrow \tau \theta_i + (1 - \tau) \bar{\theta}_i$ for $i \in \{1, 2\}$ ▷ Update target network weights

end for

end for

Output: θ_1, θ_2, ϕ ▷ Optimized parameters

Subsection 3

第 II 部分小结

“主要结果”写作要点小结

- 主要结果部分一般由定理推导与算法设计组成.
- 公式写作要点: 干净、整洁、详细.
- 引理、定理必须与证明匹配出现.
- 算法、伪代码的构成元素.
- 小结之间过渡段用于展示主旨, 承上启下.

结束页

开放式讨论

作业反馈与讨论