### 数据要素交易基础 - 知识点目录

#### Lecture 1: 数据要素市场概述

- 一、 生产要素 (Factors of Production)
  - 1. 基本模型: 循环流量图 (Basic Model: Circular Flow Diagram)
    - 家庭与企业的两类决策者
    - 物品与服务市场、生产要素市场
  - o 2. 传统四大生产要素 (Traditional Four Factors of Production)
    - 土地 (Land)
    - 劳动力 (Labour)
    - 资本 (Capital)
    - 企业家才能 (Entrepreneurship) / 技术 (Technology)
  - o 3. 数据作为生产要素 (Data as a Factor of Production)
- 二、数据市场的意义 (Significance of the Data Market)
  - 1. 数据流通的意义 (Significance of Data Circulation)
    - 乘数效应与数据孤岛
  - o 2. 数据定价的意义 (Significance of Data Pricing)
    - 公共物品属性与产权问题
  - 3. 比较优势: 引入 (Introduction to Comparative Advantage)
    - Rose(牧牛人)与 Frank(农民)的寓言
  - o 4. 比较优势 (Comparative Advantage)
    - 绝对优势 (Absolute Advantage)
    - 机会成本 (Opportunity Cost)
    - 比较优势的定义
  - o 5. 寓言的分析 (Analysis of the Parable)
  - o 6. 边际效用 (Marginal Utility)
    - 理性人与边际量
  - o 7. 看不见的手 (The Invisible Hand)
- 三、 数据市场基本概念 (Basic Concepts of the Data Market)
  - o 1. 数据市场的分类 (Classification of Data Markets)
    - 原始数据、查询数据、模型数据
  - o 2. 数据交易流程 (Data Transaction Process)
    - 数据收集、存储、产品化、合规、定价、溯源、销毁
- 四、数据市场设计要求 (Design Requirements for Data Markets)
  - 1. 产权问题 (Property Rights Issues)

- 公地悲剧 (Tragedy of the Commons)
- o 2. 定价问题 (Pricing Issues)
  - 成本法 (Cost-based)
  - 收益法 (Value-based)
  - 市场法 (Market-based)

### Lecture 2: 数据合规与安全

- 一、安全多方计算 (Secure Multi-Party Computation)
  - 。 姚氏百万富翁问题
- 二、联邦学习 (Federated Learning)
- 三、数据脱敏 (Data Masking)
  - o 动态脱敏 vs. 静态脱敏
  - 。 脱敏方法: 无效化、随机值、数据替换、对称加密等
- 四、差分隐私 (Differential Privacy)
  - ο 数学定义与隐私预算 (ε)
  - o Laplace 机制
  - 组合性: 串行组合与并行组合
- 五、全同态加密 (Fully Homomorphic Encryption)
- 六、零知识证明 (Zero-Knowledge Proof)
  - 概念与特征(完整性、可靠性、零知识性)
  - o 技术分类: zk-SNARKs, zk-STARKs
- 七、数据合规 (Data Compliance)

# Lecture 3: 非合作博弈论基础 (一)

- 一、 微观经济学基础 (Microeconomics Basics)
  - o 1. 偏好 (Preference)
  - o 2. 效用 (Utility)
  - o 3. 几类效用函数 (Types of Utility Functions)
    - 柯布-道格拉斯效用函数
    - 冯诺依曼-摩根斯坦效用函数
    - 拟线性效用函数
  - 4. 边际效用递减规律 (Law of Diminishing Marginal Utility)
  - o 5. 效用最大化问题 (Utility Maximization Problem)
  - 6. 市场出清 (Market Clearing)
  - o 7. 社会福利 (Social Welfare)

- o 8. 市场失灵 (Market Failure)
  - 垄断 (Monopoly)、外部性 (Externalities)、信息不对称 (Asymmetric Information)
  - "柠檬市场" (The Market for Lemons)
- 二、博弈论:引入与基本概念 (Game Theory: Introduction and Basic Concepts)
  - 。 从单人决策到多人交互决策
  - 。 策略式博弈 (Strategic Game) 的表达
- 三、占优策略均衡 (Dominant Strategy Equilibrium)
  - 1. 囚徒困境的分析 (Analysis of the Prisoner's Dilemma)
  - 2. 严格劣策略 (Strictly Dominated Strategy)
  - o 3. 重复剔除严格劣策略 (Iterated Elimination of Strictly Dominated Strategies)
  - 4. 弱劣策略 (Weakly Dominated Strategy)
- 四、 纳什均衡 (Nash Equilibrium)
  - o 最佳应对 (Best Response)
  - 。 纳什均衡的定义
  - 。 古诺竞争 (Cournot Competition) 求解
  - o 纳什存在性定理 (Nash's Existence Theorem)

# Lecture 4: 非合作博弈论基础 (二)

- 一、混合策略纳什均衡 (Mixed Strategy Nash Equilibrium)
  - o 1. 混合策略的引入 (Introduction)
    - 石头剪刀布博弈
  - o 2. 混合策略的定义 (Definition)
  - o 3. 博弈的混合扩展 (Mixed Extension of a Game)
  - o 4. 混合策略纳什均衡 (Mixed Strategy Nash Equilibrium)
  - 5. 计算方法: 最优反应法 (Calculation: Best Response)
  - o 6. 无差异原则 (Indifference Principle)
- 二、 完全信息动态博弈 (Dynamic Games with Perfect Information)
  - o 1. 基本概念 (Basic Concepts)
    - 扩展式博弈 (Extensive-form Game)
  - o 2. 完美信息博弈 (Game with Perfect Information)
  - o 3. 子博弈完美均衡 (Subgame Perfect Equilibrium, SPE)
    - 不可置信威胁 (Non-credible Threat)
  - o 4. 逆向归纳法 (Backward Induction)
  - o 5. 斯塔克尔伯格模型 (Stackelberg Model)
- 三、不完全信息博弈 (Games of Incomplete Information)
  - 1. 海萨尼转换 (Harsanyi Transformation)

- 类型 (Type)、先验 (Prior)、后验 (Posterior)
- 2. 贝叶斯博弈的定义 (Definition of Bayesian Game)
- 3. 贝叶斯纳什均衡 (Bayesian Nash Equilibrium, BNE)

### Lecture 5: 合作博弈与数据估值

- 一、 从非合作博弈到合作博弈 (From Non-Cooperative to Cooperative Games)
  - 1. 合作博弈 (Cooperative Game)
    - 可转移效用 (Transferable Utility, TU)
    - 特征函数 (Characteristic Function)
- 二、核 (The Core)
  - 。 定义:有效率的 (Efficient)、联盟理性的 (Coalitionally Rational)
- 三、Shapley 值计算 (Shapley Value Calculation)
  - 1. Shapley 值性质 (Properties of Shapley Value)
    - 有效率 (Efficiency)、对称性 (Symmetry)、零参与者 (Null Player)
  - 2. Shapley 值定义 (Definition)
    - 基于边际贡献的期望值
  - o 3. 留一法 (Leave-One-Out, LOO)
  - o 4. Data Shapley
  - 5. Beta-Shapley
  - o 6. Data-Banzhaf
  - 7. 动态 Shapley 值 (Dynamic Shapley Value)

# Lecture 6: 多臂老虎机算法基础与应用

- 一、 随机多臂老虎机 (Stochastic Multi-Armed Bandit, MAB)
  - o 1. 问题背景 (Problem Introduction)
    - 探索与利用的权衡 (Explore vs. Exploit)
  - o 2. 遗憾分析 (Regret Analysis)
    - 伪遗憾与期望遗憾
  - o 3. 常用算法 (Common Algorithms)
    - ε-贪心算法 (ε-Greedy)
    - 上置信界算法 (Upper Confidence Bound, UCB)
    - 汤普森采样 (Thompson Sampling)
- 二、 对抗性多臂老虎机 (Adversarial MAB)
  - o 1. 基本模型 (Basic Model)
  - 2. 无憾学习 (No-Regret Learning)

- o 3. 跟风算法 (Follow-The-Leader, FTL)
- o 4. 乘法权重更新算法 (Multiplicative Weights Update, MWU)
- 三、多臂老虎机的应用 (Applications of MAB)
  - 1. 动态定价 (Dynamic Pricing)

## Lecture 7: 拍卖与机制设计基础

- 一、拍卖理论基础 (Auction Theory Basics)
  - 1. 常见拍卖形式 (Common Auction Formats)
    - 英式拍卖 (English Auction)、荷式拍卖 (Dutch Auction)
    - 第一价格密封拍卖 (First-Price Sealed-Bid)
    - 第二价格密封拍卖 (Second-Price Sealed-Bid, Vickrey Auction)
  - o 2. 收益等价定理 (Revenue Equivalence Theorem)
- 二、 机制设计基础 (Mechanism Design Basics)
  - o 1. 机制的定义 (Definition of Mechanism)
  - o 2. 显示原理 (Revelation Principle)
  - o 3. 直接显示机制 (Direct Revelation Mechanism)
  - 4. 激励相容 (Incentive Compatibility)
    - 占优策略激励相容 (DSIC)
    - 贝叶斯激励相容 (BIC)
- 三、 福利最大化机制设计 (Welfare Maximizing Mechanism Design)
  - 1. VCG 机制 (Vickrey-Clarke-Groves Mechanism)
    - 定义与性质
    - 与二价拍卖的关系

# Lecture 8: 最优机制

- 一、 虚拟福利最大值 (Virtual Welfare Maximization)
  - 1. BIC 版本的迈尔森引理 (Myerson's Lemma BIC Version)
  - o 2. 虚拟估值 (Virtual Valuation)
- 二、 最优机制 (Optimal Mechanism)
  - 1. 虚拟福利最大化的解 (Solution to Virtual Welfare Maximization)
  - o 2. 正则性条件 (Regularity Condition)
  - o 3. 与保留价二价拍卖的关系
- 三、拍卖与数据定价 (Auction and Data Pricing)
  - o 1. 机器学习模型拍卖 (ML Model Auction)
  - o 2. 无先验拍卖机制 (Prior-Free Auction Mechanism)

### Lecture 9: 数据定价基础

- 一、数据交易的基本框架与数据定价的要求
- 二、数据的版本化与无套利原则 (Data Versioning and No-Arbitrage Principle)
  - o 定价策略:按次计费、打包、订阅、免费增值 (Freemium)
  - o 版本化 (Versioning) 的优势
  - 套利 (Arbitrage) 与无套利原则 (No-Arbitrage Principle)
- 三、 查询数据的版本化与无套利定价 (Versioning and No-Arbitrage for Query Data)
- 四、 机器学习模型的版本化与无套利定价 (Versioning and No-Arbitrage for ML Models)
  - 隐私预算 (Privacy Budget)
  - 补偿函数 (Compensation Function)

#### Lecture 10: 贝叶斯劝说

- 一、 贝叶斯劝说:背景与例子 (Bayesian Persuasion: Background and Examples)
  - 。 信号发送者 (Sender) 与信号接收者 (Receiver)
  - o 信号机制 (Signaling Scheme)
- 二、模型描述与问题转化 (Model Description and Problem Transformation)
  - 1. 贝叶斯劝说模型 (Model of Bayesian Persuasion)
  - o 2. 贝叶斯可行性 (Bayesian Plausible)
  - o 3. 显示原理 (Revelation Principle in Persuasion)
- 三、 最优信号机制 (Optimal Signaling Mechanism)
  - 1. 凹包络 (Concave Closure)
  - 2. 最优信号机制的解 (Solution to Optimal Signaling)
  - 3. 与线性规划的关系 (Connection to Linear Programming)