

期末测试（解答版）

一、名词解释（每题 2 分，共 10 分）

1. 柠檬市场
2. 子博弈完美均衡
3. 组合无套利
4. DSIC
5. 比较优势

Solution:

1. 柠檬市场: 柠檬市场是指在信息不对称的情况下, 卖方比买方拥有更多关于产品质量的信息, 导致买方因无法分辨好坏而只愿意支付基于平均质量的价格。这使得高质量产品的卖方无利可图而退出市场, 最终市场上只剩下低质量的“次品”(即柠檬), 出现“劣币驱逐良币”的市场失灵现象。(来源: Lecture 3, page 4, 第 8 节“市场失灵”的最后一个段落及 page 5 的二手车市场例子)
2. 子博弈完美均衡: 在扩展式博弈中, 一个策略向量是子博弈完美均衡, 指的是该策略向量在整个博弈的每一个子博弈上都构成一个纳什均衡。这一概念通过要求策略在博弈的每个阶段都必须是最优的, 从而排除了那些包含不可置信威胁的纳什均衡。(来源: Lecture 4, page 4, 第 3 节“子博弈完美均衡”的定义部分)
3. 组合无套利: 组合无套利是指在数据定价中, 一个查询如果可以被拆分为多个子查询来完成, 那么这一个整体查询的价格不应高于所有子查询价格的总和。这个原则旨在防止买家通过组合多个低价查询来绕开一个高价的等效查询, 从而实现套利。(来源: Lecture 9, page 4, 标题为“组合无套利研究...”下的定义部分)
4. DSIC: DSIC 是“占优策略激励相容”(Dominant-Strategy Incentive Compatible)的缩写。在机制设计中, 如果一个机制使得每个参与者无论其他人的策略如何, 其自身的占优策略都是诚实地报告自己的类型(如真实估值), 那么这个机制就是 DSIC 的。(来源: Lecture 7, page 7, 第 3 节“直接显示机制”的定义 2)
5. 比较优势: 如果一个生产者在生产某种物品时, 其机会成本(即为生产该物品而必须放弃的其他物品的数量)低于另一个生产者, 那么我们就说这个生产者在生产该物品上具有比较优势。贸易的基础是比较优势, 而非绝对优势。(来源: Lecture 1, page 4, 第 4 节“比较优势”的定义部分)

二、单项选择题（每题 2 分，共 18 分）

1. 下列哪种方法是通过向数据添加随机噪声实现隐私保护的:
(a) 差分隐私 (b) 安全多方计算 (c) 零知识证明 (d) 同态加密

Solution: 正确答案: (a)

根据笔记内容, 差分隐私的实现方式就是通过向真实数据添加经过校准的随机噪声, 从而对个人隐私进行量化保护。笔记中明确指出: “怎么实现差分隐私实现: 通过对真实数据添加随机噪声进行扰动, 实现用户隐私的量化保护 安全性: 随机噪声对真实数据的扰动是差分隐私安全性的来源。”而其他选项:

- (b) 安全多方计算: 是在不共享原始数据的基础上进行联合建模。
- (c) 零知识证明: 是在不提供任何有用信息的情况下, 使验证者相信某个论断是正确的。

- (d) 同态加密：是在密文域上进行操作，避免运算过程中解密数据。

这三者都不是通过添加噪声来实现隐私保护。

(考查知识点：差分隐私的基本原理。来源：Lecture 2, page 3, 第四节“差分隐私”下的“怎么实现差分隐私实现”段落。)

2. 假如全班同学玩一个游戏：要求每位同学给出一个 0 到 100 之间的实数，最后所给数字最接近全班给出的数字的平均数的 $\frac{1}{2}$ 的同学获胜，以下哪种策略构成纯策略纳什均衡：

- (a) 所有同学都给出 0
- (b) 所有同学都给出 50
- (c) 所有同学都给出 25
- (d) 一半同学给出 0，一半同学给出 50

Solution: 正确答案：(a)

解题分析：这是一个博弈论问题，我们需要找到一个纯策略纳什均衡点。在纳什均衡状态下，任何一个参与者都无法通过单方面改变自己的策略来获得更好的结果。设全班有 N 位同学，每位同学 i 给出的数字为 $s_i \in [0, 100]$ 。所有同学给出数字的平均数为 $\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i$ 。获胜的目标数字为 $T = \frac{1}{2}\mu$ 。

我们来逐一分析每个选项是否构成纳什均衡：

- (a) 所有同学都给出 0：如果所有同学都选择 0，即 $s_i = 0$ 对所有 i 成立。此时平均数 $\mu = 0$ 。 $T = 0$ 。在这种情况下，所有同学都准确地猜中了目标数字，他们都获胜（或平局）。现在考虑任何一位同学 k 是否有动机单方面改变策略。假设其他 $N - 1$ 位同学都选择 0，而同学 k 选择了一个新数字 $s'_k > 0$ 。新的平均数将是 $\mu' = \frac{s'_k + \sum_{i \neq k} 0}{N} = \frac{s'_k}{N}$ 。新的目标数字将是 $T' = \frac{1}{2}\mu' = \frac{s'_k}{2N}$ 。同学 k 的最佳策略是让自己的选择 s'_k 等于目标 T' ，即 $s'_k = \frac{s'_k}{2N}$ 。由于班上至少有两名同学 ($N \geq 2$)，这个等式只有在 $s'_k = 0$ 时才成立。这意味着，如果其他人都选择 0，对同学 k 来说，任何 s'_k 的选择都会使他离新的目标更远，他的最佳选择仍然是 0。因此，没有人有动机单方面改变策略。这是一个纯策略纳什均衡。
- (b) 所有同学都给出 50：如果所有同学都选择 50，则平均数 $\mu = 50$ 。目标数字 $T = \frac{1}{2} \times 50 = 25$ 。此时，所有同学都选择了 50，但目标是 25。任何一个同学只要单方面把自己的数字改成 25，他就会比其他人更接近目标数字，从而获胜。因此，大家都有动机改变策略。这不是纳什均衡。
- (c) 所有同学都给出 25：如果所有同学都选择 25，则平均数 $\mu = 25$ 。目标数字 $T = \frac{1}{2} \times 25 = 12.5$ 。与 (b) 类似，任何一个同学都有动机把自己的数字改成 12.5 来获胜。这不是纳什均衡。
- (d) 一半同学给出 0，一半同学给出 50：假设有 $\frac{N}{2}$ 的人选 0， $\frac{N}{2}$ 的人选 50。平均数 $\mu = \frac{(\frac{N}{2}) \times 0 + (\frac{N}{2}) \times 50}{N} = 25$ 。目标数字 $T = \frac{1}{2} \times 25 = 12.5$ 。此时，选择 0 的同学与目标的差距是 12.5，选择 50 的同学与目标的差距是 37.5。任何一位同学（无论他选了 0 还是 50）只要单方面把自己的数字改为 12.5，就能比所有人都更接近目标而获胜。因此，大家都有动机改变策略。这不是纳什均衡。

(考查知识点：纯策略纳什均衡的定义与应用。来源：Lecture 3, page 10, 第四节“纳什均衡”中对纳什均衡的定义：一个策略组合是纳什均衡，如果对于每个参与者 i ，其选择的策略 s_i 是对于其他参与者策略 s_{-i} 的最佳应对。本题是对该定义的直接应用，通过检验是否存在有利可图的单方面偏离来判断均衡点。)

3. 假设你（参与者 1）和另一个同学（参与者 2）闹矛盾，你们可以选择打架或者不打架，但是对方不清楚你的实力，因此对于对方而言，以下两个表格的情况都可能出现：左边的表格代表你比对方强，右边的表格代表你比对方弱：

		参与人2				参与人2	
		打架	不打架			打架	不打架
参与人1	打架	(1, -2)	(2, -1)	参与人1	打架	(-2, 1)	(2, -1)
	不打架	(-1, 2)	(0, 0)		不打架	(-1, 2)	(0, 0)

假设对方认为你比他强或弱的概率均为 $1/2$ ，以下哪项是贝叶斯纯策略纳什均衡：

- (a) 参与人 1 强类型时打架，弱类型时打架，参与人 2 选择打架
- (b) 参与人 1 强类型时打架，弱类型时打架，参与人 2 选择不打架
- (c) 参与人 1 强类型时打架，弱类型时不打架，参与人 2 选择不打架
- (d) 参与人 1 强类型时打架，弱类型时不打架，参与人 2 选择打架

Solution: 正确答案：(d)

解题分析：这是一个不完全信息静态博弈，我们需要找到其贝叶斯纳什均衡。在贝叶斯纳什均衡中，每个参与者的每种类型都选择最大化其期望效用的策略，并且这些策略互为最佳应对。

- 参与人 1 的策略 是一个策略组合，说明他在强类型 (S) 和弱类型 (W) 时分别采取什么行动，记为 $(s_{1,S}, s_{1,W})$ 。
- 参与人 2 的策略 只有一个行动 s_2 ，因为他没有私人信息（只有一种类型）。
- 参与人 2 的信念 是：参与人 1 是强类型的概率为 $P(S) = \frac{1}{2}$ ，是弱类型的概率为 $P(W) = \frac{1}{2}$ 。

我们来逐一检验每个选项是否构成均衡：

- 检验参与人 1 的策略：对于给定的参与人 2 的策略 s_2 ，参与人 1 的两种类型是否都选择了最佳应对。
 - 检验参与人 2 的策略：对于给定的参与人 1 的策略组合 $(s_{1,S}, s_{1,W})$ ，参与人 2 的策略 s_2 是否是其期望效用最大化的选择。
- (a) 策略为：P1(强:打, 弱:打), P2(打): 检验 P1: 若 P1 是弱类型，P2 选择“打架”。P1 若“打架”收益 -2，若“不打架”收益 -1。 $-1 > -2$ ，所以弱类型的 P1 应该选择“不打架”。选项 (a) 中弱类型 P1 选择“打架”，所以 P1 有动机偏离。(a) 不是均衡。
 - (b) 策略为：P1(强:打, 弱:打), P2(不打): 检验 P2:
 - P1 的策略是无论强弱都“打架”。P2 需要计算自己选择“打架”或“不打架”的期望效用：
 - $E[u_2(\text{打架}) | P1 \text{ 策略为}(\text{打}, \text{打})] = \frac{1}{2} \times u_2(P1 \text{ 强}, P2 \text{ 打}) + \frac{1}{2} \times u_2(P1 \text{ 弱}, P2 \text{ 打}) = -0.5$
 - $E[u_2(\text{不打架}) | P1 \text{ 策略为}(\text{打}, \text{打})] = \frac{1}{2} \times u_2(P1 \text{ 强}, P2 \text{ 不打}) + \frac{1}{2} \times u_2(P1 \text{ 弱}, P2 \text{ 不打}) = -1$
 - 因为 $-0.5 > -1$ ，所以 P2 的最佳选择是“打架”。选项 (b) 中 P2 选择“不打架”，所以 P2 有动机偏离。(b) 不是均衡。
 - (c) 策略为：P1(强:打, 弱:不打), P2(不打): 检验 P1: 若 P1 是弱类型，P2 选择“不打架”。P1 若“打架”收益 2，若“不打架”收益 0。 $2 > 0$ ，所以弱类型的 P1 应该选择“打架”。选项 (c) 中弱类型 P1 选择“不打架”，所以 P1 有动机偏离。(c) 不是均衡。
 - (d) 策略为：P1(强:打, 弱:不打), P2(打):
 - 检验 P1:
 - 若 P1 是强类型，P2 选择“打架”。P1 若“打架”收益 1，若“不打架”收益 -1。 $1 > -1$ ，强类型 P1 选择“打架”是最佳应对。
 - 若 P1 是弱类型，P2 选择“打架”。P1 若“打架”收益 -2，若“不打架”收益 -1。 $-1 > -2$ ，弱类型 P1 选择“不打架”是最佳应对。
 - 参与人 1 的策略没有偏离动机。
 - 检验 P2:
 - P1 的策略是强时“打架”，弱时“不打架”。P2 需要计算自己选择“打架”或“不打架”的期望效用：

- $E[u_2(\text{打架}) | P1 \text{策略为(打, 不打)}] = \frac{1}{2} \times u_2(P1 \text{强}, P2 \text{打}) + \frac{1}{2} \times u_2(P1 \text{弱}, P2 \text{打}) = 0$
- $E[u_2(\text{不打架}) | P1 \text{策略为(打, 不打)}] = \frac{1}{2} \times u_2(P1 \text{强}, P2 \text{不打}) + \frac{1}{2} \times u_2(P1 \text{弱}, P2 \text{不打}) = -0.5$
- 因为 $0 > -0.5$, 所以 P2 的最佳选择是“打架”。
- 参与人 2 的策略没有偏离动机。

► 结论：双方都没有单方面偏离的动机，因此 (d) 是该博弈的贝叶斯纯策略纳什均衡。

(考查知识点：贝叶斯纳什均衡 (Bayesian Nash Equilibrium)。来源：Lecture 4, page 9, 第 3 节“不完全信息博弈的三个阶段”之前对贝叶斯均衡的定义部分：“不完全信息博弈的策略向量... 是不完全信息博弈的贝叶斯均衡，如果对每个参与人 i ，每个类型 t_i 以及每个可能的纯策略 s_i ，都有 $U_i(\sigma) \geq U_i(s_i, \sigma_{-i}^*)$ ”。本题是该定义的一个直接计算应用。)

4. 考虑如下三人 A, B, C 的合作博弈，联盟效用函数为 $u(\Phi) = 0, u(A) = 1, u(B) = 3, u(C) = 2, u(AB) = 5, u(AC) = 4, u(BC) = 8, u(ABC) = 20$ ，下列说法正确的是：

- (a) 该博弈的核是空集
- (b) 该博弈的核中只包含一个点
- (c) 该博弈中 A 的沙普利值比 B 的沙普利值高
- (d) 该博弈的沙普利值在核中

Solution: 正确答案：(d)

解题分析：本题考查合作博弈中的两个核心概念：核 (Core) 和 沙普利值 (Shapley Value)。我们需要分别进行计算和判断。

第一步：分析博弈的核 (Core)

核的定义是满足以下条件的分配向量 $x = (x_A, x_B, x_C)$ 的集合：

1. 有效率性 (Efficiency): $x_A + x_B + x_C = u(ABC) = 20$
2. 联盟理性 (Coalitional Rationality):

- $x_A \geq u(A) = 1$
- $x_B \geq u(B) = 3$
- $x_C \geq u(C) = 2$
- $x_A + x_B \geq u(AB) = 5$
- $x_A + x_C \geq u(AC) = 4$
- $x_B + x_C \geq u(BC) = 8$

为了判断核是否为空集，我们可以尝试寻找一个在核内的点，容易发现 $x = (5, 8, 7)$ 和 $x = (6, 7, 7)$ 都符合要求，故 (a) 和 (b) 错误。

第二步：计算沙普利值 (Shapley Value)

沙普利值的计算公式为对所有可能的参与人排序下的边际贡献取平均。对于三人博弈，共有 $3! = 6$ 种排序。

$$SV_i(u) = \frac{1}{n!} \sum_{\sigma \in S_n} [u(P_i(\sigma) \cup \{i\}) - u(P_i(\sigma))]$$

(对于三合作商的 Shapley 的计算，Final Exam/Review/三人合作商 Shapley.pdf 给出了通解，我们直接使用)

- 计算 A 的沙普利值 $SV_A = 5$
- 计算 B 的沙普利值 $SV_B = 8$
- 计算 C 的沙普利值 $SV_C = 7$

因此 (c) 错误，(d) 正确。

(考查知识点：合作博弈的核与沙普利值。来源：Lecture 5, page 2, 第二节“核”的定义部分；Lecture 5, page 4, 第二节“Shapley 值定义”中基于排序的定义和计算方法。)

5.关于多臂老虎机算法，下列说法正确的是：

- (a)贪心算法探索阶段参数 N (每个臂探索的次数) 的取值与最后的遗憾无关
- (b)UCB 算法的思想是多选择过往表现好的臂以及过往尝试较少的臂
- (c)虽然汤普森采样算法比较简洁，但其遗憾界不如 UCB 算法
- (d)存在确定性算法在对抗性多臂老虎机情形下是无憾的

Solution: 正确答案：(b)

(a) 贪心算法探索阶段参数 N 的取值与最后的遗憾无关：这个说法是错误的。根据笔记中对贪心算法的遗憾分析，为了最小化遗憾上界 $O\left(T^{\frac{2}{3}}(K \log T)^{\frac{1}{3}}\right)$ ，探索次数 N 的最优取值是与总轮数 T 相关的（具体为 $N = \left(\frac{K}{T}\right)^{\frac{1}{3}} O(\log T)^{\frac{1}{3}}$ ，简化为 $N = T^{\frac{2}{3}}(\log T)^{\frac{1}{3}}$ ）。这表明 N 的取值直接影响最终的遗憾，并非无关。（来源：Lecture 6, page 3, 第 8 节“贪心算法的遗憾分析”）

(b)UCB 算法的思想是多选择过往表现好的臂以及过往尝试较少的臂：这个说法是正确的。UCB 算法的选择规则是选择使得 $Q_t(a) + \sqrt{\frac{2 \ln t}{N_t(a)}}$ 最大的臂 a 。当一个臂被尝试的次数 $N_t(a)$ 较少时，该项会变大，从而鼓励算法探索这个“尝试较少的臂”。笔记中明确指出：“选择上置信界最大的臂有利于偏向于选择表现较好或是较少选择的臂”。（来源：Lecture 6, page 5, UCB 算法直观理解部分）

(c)虽然汤普森采样算法比较简洁，但其遗憾界不如 UCB 算法：这个说法是错误的。笔记中提到，汤普森采样 (TS) 算法和 UCB 算法具有相同的渐进遗憾上界，均为 $O(\sqrt{KT \log T})$ 。并且，笔记中还强调“甚至实证中表明其效果比 UCB 算法更好”，并给出了模拟图例证明这一点。（来源：Lecture 6, page 8, 第 10 节“汤普森采样算法”的定理和总结部分）

(d)存在确定性算法在对抗性多臂老虎机情形下是无憾的：这个说法是错误的。在对抗性多臂老虎机设定下，如果算法是确定性的，那么对手就可以完全预测算法的下一步选择，并给该选择设置最高代价。这将导致线性级别的遗憾 ($\text{Regret} = O(T)$)，而不是次线性的无憾 (no-regret)。笔记中明确指出：“任意的确定性算法都会有线性级别的遗憾”，并说明随机化是无憾的必要条件。（来源：Lecture 6, page 10, 第 4 节“随机化是无憾的必要条件”）

6.关于单物品拍卖，下列说法正确的是：

- (a)单物品第二价格拍卖与英式拍卖在考虑相互依赖价值时等价
- (b)单物品第一价格拍卖与英式拍卖在不考虑相互依赖价值时等价
- (c)竞拍者估值独立同分布的情况下，单物品第一价格拍卖的对称递增均衡满足事后有效率性
- (d)均衡情况下单物品第三价格拍卖的卖家收益一定与单物品一价拍卖、二价拍卖相等

7.以下哪项属于 VCG 机制的不足之处：

- (a)不是事后有效率的机制
- (b)只能应用于买家估值有先验分布的情况
- (c)可能出现竞拍者增多但卖家收入降低的情况
- (d)与二价拍卖不兼容

8.假设买家希望购买一个线性回归模型，卖家的版本化方法是对其线性回归的某个系数添加高斯噪声 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ ，每次添加的噪声之间相互独立。如果添加 $\varepsilon_1 \sim N(0, 2)$ 的模型价格为 p_1 ，添加 $\varepsilon_2 \sim N(0, 3)$ 的模型价格为 p_2 ，添加 $\varepsilon_3 \sim N(0, 4)$ 的模型价格为 p_3 ，如下哪一组定价是满足无套利条件的：

$$(a)p_1 = 7, p_2 = 8, p_3 = 9$$

$$(b)p_1 = 7, p_2 = 6, p_3 = 5$$

$$(c)p_1 = 7, p_2 = 10, p_3 = 15$$

$$(d)p_1 = 7, p_2 = 5, p_3 = 3$$

9. 假设有一个厂商出售商品，有三个具有单位需求的消费者，他们对商品可能的估值集合为 $V = \{1, 2, 3\}$ 。厂商对消费者估值的先验分布为 $(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4})$ （即有 $\frac{1}{4}$ 的概率为 1， $\frac{1}{2}$ 的概率为 2， $\frac{1}{4}$ 的概率为 3），则厂商对消费者实施三级价格歧视的福利三角形对应的三条约束为（记厂商福利为 π ，消费者福利为 u ）

$$(a)u \geq 0, \pi \geq \frac{3}{2}, \pi + u \leq 2$$

$$(b)u \geq 0, \pi \geq \frac{3}{4}, \pi + u \leq 2$$

$$(c)u \geq 0, \pi \leq \frac{3}{2}, \pi + u \geq 2$$

$$(d)u \geq 0, \pi \leq \frac{3}{4}, \pi + u \geq 2$$

三、简答与计算：纳什均衡（14 分）

n 个研究课题组希望购买一份数据供研究使用，每个课题组有两种选择：买或不买，他们的决策是独立做出的（互相之间没有交流）。并且只要有一个课题组购买，所有课题组就可以共用数据。购买数据为每个课题组带来的效用为 u ，购买数据的课题组需要支付价格 p 。设 $u > p > 0$ ，每个课题组的效用函数形式为拟线性效用函数，回答下列问题：

- （3 分）“只要有一个课题组购买，所有课题组就可以共用数据”体现了数据的什么性质？基于这一性质简要谈一谈为什么数据产权问题是重要的；
- （5 分）将上述场景定义为策略式博弈，并求解博弈的纯策略纳什均衡；
- （6 分）称一纳什均衡是对称的，如果在该纳什均衡中，所有参与人的策略（纯策略或混合策略）都是相同的。求解该博弈的对称混合策略纳什均衡，并说明从这一结果中能得到的启示。

四、简答与计算：不确定性下的数据定价（15 分）

考虑一个数据卖家出售一份数据的场景，但此时卖家不知道这份数据对于买家的价值。考虑下面三种定价场景并回答相应的问题：

- （6 分）如果买家是逐个到达市场的，可以将买家估值视为对抗性多臂老虎机给出的，因此可以使用乘性权重（MWU）算法。请给出 MWU 算法应用于这一场景下的伪代码，并给出伪代码的解释，特别需要解释代价的定义；

提示：价格本质上是离散的，因为价格有最小单位（如人民币的“分”），并且合理的价格是有界的，故可以使用 MWU 算法；

- （6 分）如果聚集了 n 个买家，则可以使用拍卖的方式诚实显示买家的估值。设 n 个买家对数据的估值都服从 $[200, 500]$ 上的均匀分布，请给出卖家的最优拍卖机制，以及实施最优拍卖机制下的卖家期望收益；

提示：数据可以零成本复制，且买家具具有单位需求；

- （3 分）更现实的情况下的出售机制：现实中很少使用拍卖的方式出售数据，因此问题是现实中还有什么解决卖家对数据对于买家的价值不确定性问题的定价方法？给出一种方法，并说明这一方法能解决不确定性的理由。

五、简答与计算：贝叶斯劝说（13 分）

1. 贝叶斯劝说是一种重要的信息设计方法，请简要叙述：

(a)(3 分) 信息设计和机制设计的异同；

(b)(3 分) 信息设计的显示原理和机制设计的显示原理的异同；

2. 考虑上课讲的导师给学生写推荐信的例子，与上课例子不同的地方在于：第一，企业和导师对学生类型的共同先验分布设为可变参数 $p \in (0, 1)$ ，即 $\mu_0(\text{excellent}) = p, \mu_0(\text{average}) = 1 - p$ ；第二，企业在招收到优秀的学生时获得效用仍为 1，但招到普通学生时获得效用为 -2 ，回答以下问题：

(a)(2 分) 求 p 的范围使得导师设计信号机制相比于先验情况可以得到严格更高的效用；

(b)(5 分) 若 $p = 0.5$ ，求导师最优的写推荐信策略。

六、课程反馈（30 分）

1. (10 分) 在这门课中你觉得最有收获的是哪一节，让你最困惑的是哪一节，为什么？

2. (10 分) 在这门课中你觉得最需要改进的是哪些方面？例如教学内容的选择、课程安排、考核方式、课堂氛围等。

3. (10 分) 畅所欲言你在这门课的任何感受，或者任何想对老师和助教说的话。