Teoría de Juegos

Tópico 3: Juegos con Información Incompleta

Luis Chávez

Departamento Académico de Economía y Planificación
UNALM

Lima, 2025

Contenido

Notación

1. Un conjunto N de jugadores, $i = \{1, 2, ..., n\}$.
2. Un espacio de acciones $\forall i$, A_i.
3. Una colección de conjuntos de espacios de acciones, $A = \prod A_i$.
4. Un conjunto de tipos $\forall i$, $t_i \in T_i$.
5. Una colección de conjuntos de tipos, T.
6. Un conjunto de probabilidades $\forall i$, $p_i : T_i \to \Delta T_{-i}$.
7. Función de utilidad, $u_i = A \times T \to \mathbb{R}$.

Generalidades

Supuesto 1 (información incompleta)

Al menos algún i tiene información privada que no es conocida por su(s) oponente(s).

A veces se alude como asimetría de información.

Generalidades

Definición 1 (juego bayesiano)

Un juego bayesiano, $\Psi(N, A, T, p, u)$, es aquella estructura donde se evidencia información asimétrica en alguna parte del juego.

Contenido

Caracterización

John Harsanyi consideraba que los jugadores son de diferentes tipos.

Definición 1 (tipos)

Es aquel atributo de un jugador i que sólo es observable por sí mismo.

Equilibrio

Definición 2 (equilibrio de Nash bayesiano)

Un perfil de estrategias $s^* = (s_1^*, \ldots, s_n^*)$ es un ENB en Ψ si y sólo si $\forall i$ y $t_i \in T_i$,

$$s_i^*(t_i) \in \arg\max_{a_i} \sum u_i(s_i^*(t_i), \ldots, a_i, \ldots, s_N(t_N)^*) \times p_i(t'_{-i}|t_i) \tag{1}$$

donde a_i es una acción y $p_i(t'_{-i}|t_i)$ es la denota la creencia de i de que los tipos de todos los demás jugadores son $t'_{-i} = (t'_1, t'_2, \ldots, t'_{i-1}, t'_{i+1}, \ldots, t'_n)$, dado su propio tipo.

Caracterización

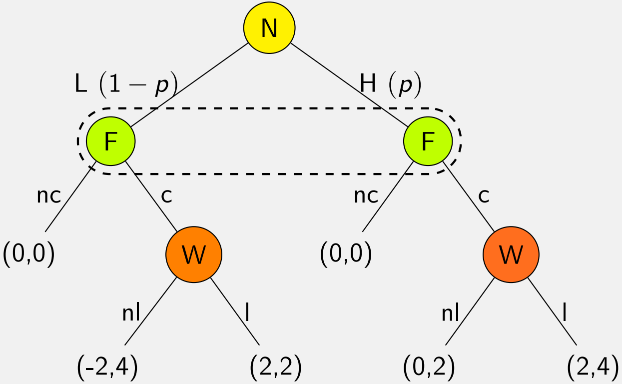
Ejemplo 1

Una firma no sabe si un trabajador es de alta (H) o baja (L) habilidad, aunque, el trabajador si conoce su tipo. El trabajador preferiría laborar si es de alta habilidad y, en caso contrario, preferiría no laborar. La firma preferirá contratar al trabajador que trabajará. La creencia de la firma es que $(H, L) = (p, 1-p)$.

¿La firma sabe que el trabajador conoce su tipo?

Caracterización

Ejemplo 1 *(continuación...)*



Caracterización

Ejemplo 1 *(continuación...)*

Forma estratégica:

$t_W = L$

$F \vert W$	nl	l
nc	0,0	0,0
c	-2,4	2,2

$t_W = H$

$F \vert W$	nl	l
nc	0,0	0,0
c	0,2	2,4

$$T_F = \{t_F\}, \quad T_W = \{t_H, T_L\}$$

$$A_F = \{c, nc\}, \quad A_W = \{l, nl\}$$

$$p_F = (t_H, t_L) = (p, 1-p), \quad p_W(t_F) = 1$$

Caracterización

Ejemplo 1 *(continuación...)*

Si $p = 3/4$, demostrar que $s^* = (s_F^*(t_F), [s_W^*(t_L), s_W^*(t_H)]) = (c, (l, nl))$ es un ENB.

Solución.

La creencia de la firma es $p_F(H|t_F) = 3/4$ y $p_F(L|t_F) = 1/4$. Luego,

$$u_F^e(c, s_W^*|t_F) = u_F(c, l, H)p_F(H|t_F) + u_F(c, nl, L)p_F(L|t_F) = 2\frac{3}{4} + (-2)\frac{1}{4} = 1$$

$$u_F^e(nc, s_W^*|t_F) = u_F(nc, l, H)p_F(H|t_F) + u_F(nc, nl, L)p_F(L|t_F) = 0\frac{3}{4} + 0\frac{1}{4} = 0$$

Entonces, $MR(F|t_F) = c$.

Caracterización

Ejemplo 1 *(continuación...)*

Ahora, se analiza los tipos de trabajador:

$$u_W^e(s_F^*, l|H) = u_W(c, l, H) = 4$$

$$u_W^e(s_F^*, nl|H) = u_W(c, nl, H) = 2$$

Entonces, $MR(W|t_H) = l$.

$$u_W^e(s_F^*, l|L) = u_W(c, l, L) = 2$$

$$u_W^e(s_F^*, nl|L) = u_W(c, nl, L) = 4$$

Entonces, $MR(W|t_H) = nl$.

Caracterización

Actividad 1. Demostrar que $s^* = (s_F^*, s_W^*) = (nc, (nl, nl))$ es ENB.

Contenido

Duopolio de Cournot

Sea dos firmas que compiten en cantidades y enfrentan la demanda del mercado $p(Q) = a - bQ$, con $Q = q_1 + q_2$. Los costes de la firma 1 es $c_1(q_1) = cq_1$, mientras que de la firma 2 es:

$$c_2(q_2) = \begin{cases} c_x q_2 & \text{con probabilidad } \theta \\ c_y q_2 & \text{con probabilidad } 1 - \theta \end{cases}$$

La firma 2 conoce sus CMg y el de la firma 1, pero la firma 1 sólo conoce sus CMg y la distribución de probabilidades de los tipos de CMg de la firma 2.

Duopolio de Cournot

Caracterización:

$$N = \{1, 2\}$$

$$T_1 = \{c\}$$

$$T_2 = \{c_x, c_y\}$$

$$A_c = A_{cx} = A_{yc} = [0, \infty)$$

$$p_2(c|c_x) = p_2(c|c_y) = 1$$

$$(p_1(c_x|c), p_1(c_y|c)) = (\theta, 1 - \theta)$$

Duopolio de Cournot

Los profits:

$$\max \pi_1(q_1, q_2, c) = (a - bq_1 - bq_2)q_1 - cq_1 = (a - bq_1 - bq_2 - c)q_1$$

$$\max \pi_2(q_1, q_2, c_x) = (a - bq_1 - bq_2)q_2 - c_x q_2 = (a - bq_1 - bq_2 - c_x)q_2$$

$$\max \pi_2(q_1, q_2, c_y) = (a - bq_1 - bq_2)q_2 - c_y q_2 = (a - bq_1 - bq_2 - c_y)q_2$$

Duopolio de Cournot

$MR(2|c_x)$:

$$a - bq_1 - 2bq_2 - c_x = 0$$

$$q_2(c_x) = \frac{a - bq_1 - c_x}{2b} \tag{2}$$

$MR(2|c_y)$:

$$a - bq_1 - 2bq_2 - c_y = 0$$

$$q_2(c_y) = \frac{a - bq_1 - c_y}{2b} \tag{3}$$

Duopolio de Cournot

$MR(1|c)$:

$$\max_{q_1} \; \theta(a - bq_1 - bq_2(c_x) - c)q_1 + (1-\theta)(a - bq_1 - bq_2(c_y) - c)q_1$$

FOC:

$$\theta(a - 2bq_1 - bq_2(c_x) - c) + (1-\theta)(a - 2bq_1 - bq_2(c_y) - c) = 0$$

$$q_1(c_x, c_y) = \frac{\theta(a - bq_2(c_x) - c) + (1-\theta)(a - bq_2(c_y) - c)}{2b} \tag{4}$$

Duopolio de Cournot

De (2) y (3) en (4), se tiene:

$$2bq_1 = \theta\left(a - b\frac{a - bq_1 - c_x}{2b} - c\right) + (1-\theta)\left(a - b\frac{a - bq_1 - c_y}{2b} - c\right)$$

$$q_1^* = \frac{a + (1-\theta)c_y + \theta c_x - 2c}{3b} \tag{5}$$

Resolviendo, se puede hallar el ENB:

$$(q_1^*, q_2(c_x)^*, q_2(c_y)^*)$$

Contenido

Creencias

Definición 3 (sistema de creencias)

Dado un juego Ψ, un sistema de creencias μ es una distribución de probabilidad sobre los nodos de decisión dentro de cada conjunto de información H_i.

$$\forall i \in N, \forall h \in H_i \wedge x \in h, \exists \mu(x) \in [0, 1] \tag{6}$$

Creencias

Definición 4 (trayectoria de equilibrio)

Dado Ψ, un conjunto de información está en la trayectoria de equilibrio si se alcanza con probabilidad positiva cuando el juego se desarrolla según las estrategias de equilibrio, y está fuera de la trayectoria de equilibrio si es seguro que no se alcanza cuando el juego se desarrolla según las estrategias de equilibrio[1].

Véase Gibbons (1992).

[1] Puede ser EN, ENPS, ENP o ENBP

Requerimientos

Véase Tadelis (2013):

1. Cada i tendrá una creencia bien definida sobre su posición en conjunto de información. Es decir, el juego cuenta con un sistema de creencias.
2. Sea el perfil $\sigma^* = (\sigma_1^*, ..., \sigma_n^*)$ un ENB. Se requiere que en todos los conjuntos de información las creencias que están en la trayectoria de equilibrio sean consistentes con la regla de Bayes.
3. En conjuntos de información que están fuera de la trayectoria de equilibrio se puede asignar cualquier creencia a la que no se aplique la regla de Bayes.
4. Dadas sus creencias, las estrategias de los jugadores deben ser **secuencialmente racionales**. Es decir, en cada conjunto de información, los jugadores buscarán la mejor respuesta a sus creencias.

Conceptos

Definición 4 (ENBP)

Un **Equilibrio de Nash Bayesiano Perfecto** es un Equilibrio de Nash Bayesiano, $\sigma^* = (\sigma_1^*, ..., \sigma_n^*)$, junto con un sistema de creencias μ que satisfacen los 4 requerimientos de Tadelis (2013).

Conceptos

Definición 5 (consistencia)

Un perfil de estrategias $\sigma^* = (\sigma_1^*, ..., \sigma_n^*)$ junto con un sistema de creencias μ^* es **consistente** si existe una secuencia de estrategias mixtas no degeneradas $\{\sigma^k\}_1^\infty$ y una secuencia de creencias que son derivadas de cada σ^k de acuerdo a la regla de Bayes, $\{\mu^k\}_1^\infty$, tal que $\lim_{k\to\infty}(\sigma^k, \mu^k) = (\sigma^*, \mu^*)$.

Conceptos

Definición 6 (equilibrio secuencial)

Un perfil de estrategias $\sigma^* = (\sigma_1^*, ..., \sigma_n^*)$ junto con un sistema de creencias μ^* es un **equilibrio secuencial** si (σ^*, μ^*) es un ENBP consistente.

Creencias

- En ENB las creencias eran exógenas:
  - Las estrategias dependían de las creencias.
  - Las creencias eran independientes de las estrategias.
- En ENBP tanto las creencias como las estrategias son parte del resultado del equilibrio:
  - Las estrategias dependen de las creencias.
  - Las creencias dependen de la naturaleza (dada) o de las estrategias (que otros jugadores pueden hacer).

Creencias

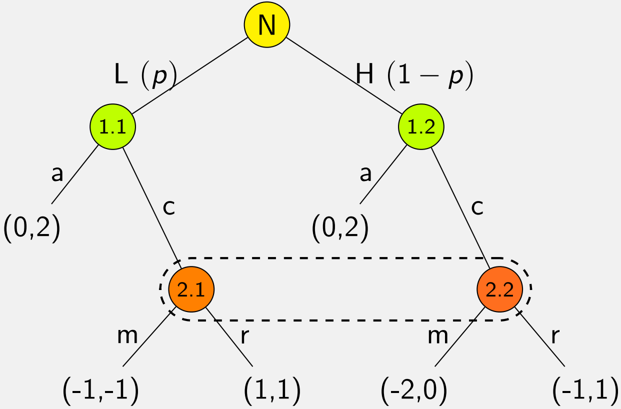
Restricciones consistentes de las creencias:

1. Exógenas: las creencias deben ser consistentes con la regla de Bayes
2. Endógenas: las creencias deben ser consistentes con cómo anticipamos las estrategias de otros jugadores.

Creencias

Ejemplo 3

Sea el juego dinámico:



Creencias

Ejemplo 3 (continuación...)

Caracterización del sistema de creencias:

$$\mu(h_1^1) = \mu(h_1^2) = 1$$

$$\mu(h_2^1) \in [0, 1]$$

$$\mu(h_2^2) \in [0, 1]$$

$$\mu(h_2^1) + \mu(h_2^2) = 1$$

Nota: las creencias son parcialmente determinadas por la naturaleza (exógenas) o parcialmente determinadas por las estrategias de i (endógenas).

Creencias

Ejemplo 3 (continuación...)

Forma estratégica del juego[2], asumiendo $p = 1/2$:

1|2	m	r
aa	({0,0}, 2)	({0,0}, 2)
ac	({0,-2}, 1)	({0,-1], $\frac{3}{2}$)
ca	({-1,0}, $\frac{1}{2}$)	({1,0}, $\frac{3}{2}$)
cc	({-1,-2}, -$\frac{1}{2}$)	({1,-1}, 1)

$$ENB = \{(aa, m), (ca, r)\}$$

¿Cuál de los 2 sobrevive?

[2] Dentro de las llaves están los pagos de J1 y los pagos de J2 están ponderados por p.

Creencias

Ejemplo 3 (continuación...)

Sea (aa, m):

- El conjunto de información $h_2 = (2.1, 2.2)$ está fuera de la trayectoria del equilibrio, por lo que $0 \leq \mu(h_2^1) \leq 1$ (R3).
- Los pagos esperados de J2 serán:

$$\mu(h_2^1)(-1) + \mu(h_2^2)(0) = -\mu(h_2^1), \quad \text{si J2 elige m.}$$

$$\mu(h_2^1)(1) + \mu(h_2^2)(1) = 1, \quad \text{si J2 elige r.}$$

  por lo que J2 elige r.
- J2 no es secuencialmente racional (R4), entonces (aa, m) no es ENBP.

Creencias

Ejemplo 3 (continuación...)

Sea (ca, r):

- El conjunto de información $h_2 = (2.1, 2.2)$ está en la trayectoria del equilibrio de Nash.
- La creencia $\mu(h_2^1) = 1$ ya que sólo por L se llega a c.
- J2 está seguro que observar c significa que J1 es el tipo L.
- Entonces, si J2 llega a h_2, su MR es r.

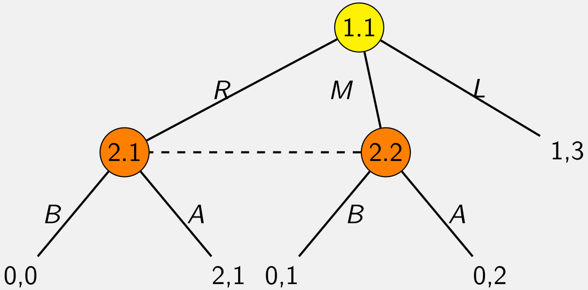
Conceptos

Ejemplo 3 (continuación...)

- Para demostrar que ca es MR a r y la creencia $\mu(h_2^1) = 1$, fijar r con prob. 1:
  - J1 se desvía a cc. No es secuencialmente racional para J1. Como J2 sabe que J1 es L, J2 jugará r. Pero si J1 es H, sabe que J2 jugará r y J1 elegirá a.
  - J1 se desvía a ac. No es secuencialmente racional. J1 debe ser L para llegar a a, pero podría mejorar si elige c ya que J2 elegirá r. Si J1 fuera H y elige c, también podría mejorar.
  - J1 se desvía a aa. No es secuencialmente racional. J1 debe ser L para llegar a a, pero podría mejorar si elige c ya que J2 elegirá r.
- Así, $ENBP = \{(ca, r)\}$.

Conceptos

Ejemplo 4



Contenido

Entrada de firmas

Realice un análisis al artículo de Milgrom y Roberts (1982).

Fundamentos

Definición 7 (juego repetido)

Todo aquel juego multietápico donde actúan los mismos jugadores y, a su vez, siempre juegan el mismo juego.

Fundamentos

- Intuición: ¿cómo se juegan los jugadores en la última etapa para ir podando el último subjuego hasta llegar al nodo inicial?
- La lógica es de inducción hacia atrás.
- Los jugadores creen que el comportamiento presente puede afectar el comportamiento futuro de los individuos, de modo que se puede condicionar con el fin de sacar ventaja de él en el futuro.
- Pueden ser: finitos o infinitos.

Fundamentos

Más vale pájaro en mano que ciento volando.

Los agentes tienen preferencias por el presente más que por el futuro (incierto). Además, prefieren disponer del dinero ahora que en el futuro. Ello conduce a la noción de descuento en el tiempo.

Descuento

- Las preferencias se modelan de modo que los pagos futuros se descuentan proporcionalmente a alguna tasa $\delta \in [0, 1)$, denominada **factor de descuento**.
- En un juego de dos períodos, el pago conjunto será:

$$U = u^1 + \delta u^2$$

- Luego,

$$\delta = \frac{1}{1 + r}$$

donde r es la tasa de interés.

Formalización

Definición 8 (juego finito)

Sea un juego $G(N,(S_i)_{i\in N},(g_i)_{i\in N})$ que se juega por T períodos (finito), donde en cada etapa los pagos de todos los períodos son observados $\forall i$, las estrategias de cada etapa son S_i y $g_i : S \to \mathbb{R}$, con $S = S_1 \times \ldots \times S_n$ y $g_i(s_i^t, s_{-i}^t)$ como el pago de la etapa para el jugador i cuando se jugó el perfil $s^t = (s_i^t, s_{-i}^t)$.
El pago de i del juego repetido es

$$u_i(\mathbf{s}) = \sum_{t=0}^{T} \delta^t g_i(s_i^t, s_{-i}^t), \quad 0 \le \delta < 1. \tag{7}$$

donde $\mathbf{s} = \{s^t\}_{t=0}^{T}$ es la secuencia de perfiles de estrategias y $\sigma = \{\sigma^t\}_{t=0}^{T}$ es la secuencia de perfiles de estrategias mixtas.

Formalización

Definición 8 (juego infinito)

Sea un juego $G^{\infty}(N, (S_i)_{i \in N}, (g_i)_{i \in N})$ que se juega indefinidamente, con $\mathbf{s} = \{s^t\}_{t=0}^{T}$ como la secuencia infinita de perfiles de estrategias. Los pagos de i ahora serán:

$$u_i(\mathbf{s}) = (1-\delta) \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t g_i(s_i^t, s_{-i}^t), \quad 0 \leq \delta < 1. \tag{8}$$

Aplicaciones

Ejemplo 5

Dilema del prisionero:

1|2	c	nc
c	(1, 1)	(-1, 2)
nc	(2, -1)	(0, 0)

Estrategia gatillo:

- Jugar *c* en cada período a menos que alguien juegue *nc*, en cuyo caso pasa a:
- Jugar *nc* por siempre.

Demostrar que $ENPS = (c, c)$ si $\delta \geq 1/2$.

Aplicaciones

Ejemplo 5 (continuación...)

Si hasta t, nc nunca ha sido jugado, los pagos serán:

$$c: \ (1-\delta)[1+\delta+\delta^2+...] = (1-\delta)\frac{1}{1-\delta} = 1$$

$$nc: \ (1-\delta)[2+\delta\cdot 0+\delta^2\cdot 0+...] = (1-\delta)2$$

Si hasta t, nc ya se ha jugado, j jugará nc siempre. Los pagos son:

$$c: \ (1-\delta)[-1+\delta\cdot 0+\delta^2\cdot 0+...] = (1-\delta)(-1)$$

$$nc: \ (-\delta)[0+\delta\cdot 0+\delta^2\cdot 0+...] = 0$$

Aplicaciones

Ejemplo 6

Sea un mercado de bienes homogéneos con demanda inversa $p(Q) = 12 - Q$ y dos empresas que compiten simultáneamente en cantidades producidas q_1 y q_2 en cada periodo. Ambas enfrentan la misma función de costos $C(q_i) = 2q_i$. Las empresas acuerdan cooperar produciendo, cada una, la mitad de la cantidad que maximiza el beneficio conjunto (la cantidad monopólica) en los periodos siguientes, siempre que la otra también lo haga. Siguen una estrategia de castigo permanente (*grim-trigger*): si una incumple, la otra competirá para siempre. ¿Bajo qué condiciones las empresas cumplirán con el acuerdo?

Referencias

Gibbons, R. (1992). *Game theory for applied economists*. Princeton University Press.

Tadelis, S. (2013). *Game theory: an introduction*. Princeton University Press.