سیستم‌های چندعاملی

درس ۱۸

چانه‌زنی

Bargaining

کاظم فولادی قلعه
دانشکده مهندسی، پردیس فارابی
دانشگاه تهران

http://courses.fouladi.ir/mas

چانه‌زنی

Bargaining

مسئله‌ی **چانه‌زنی**، نسخه‌ی خاصی از مسئله‌ی مذاکره است.
که در نظریه‌ی بازی مطالعه شده است.

فرض کنید فروشنده‌ای کالایی دارد که بهای آن 50000 واحد است (حداقل قیمت برای فروش).
فرد دیگری خریدار این کتاب به‌بهای 60000 واحد است (حداکثر قیمت برای خرید).
اگر معامله بین فروشنده و خریدار در مبلغی بین 50000 و 60000 انجام شود،
هر دو سود می‌کنند.

اما هر چه قیمت بیشتر باشد، به نفع فروشنده
و هر چه قیمت کمتر باشد، به نفع خریدار است.

ضمن اینکه هر دو راغب هستند این معامله شکل بگیرد.

نمونه‌ای از مسئله‌ی چانه‌زنی

منفعت مشترک: شکل‌گیری معامله

منفعت متضاد: محدوده‌ی قیمت

در کل، چانه‌زنی مربوط به موقعیتی است که دو عامل طرف معامله رغبت مشترکی برای همکاری دارند،
اما ترجیح‌های متضادی در مورد چگونگی این همکاری دارند.

مسئله‌ی چانه‌زنی

Bargaining Problem

مؤلفه‌های مسئله‌ی چانه‌زنی

$$\langle Ag, \Delta, \{u_i\}, \delta^- \rangle$$

Ag	**عامل‌ها** *Agents*	مجموعه‌ای از n عامل شرکت کننده $Ag = \{1, 2, \ldots, n\}$
Δ	**معامله‌های ممکن** *Deals*	مجموعه‌ی همه‌ی معامله‌های ممکن
u	**تابع سودمندی** *Utility Function*	میزان سودمندی هر معامله برای هر عامل $u_i : \Delta \rightarrow \mathbb{R}$
δ^-	**معامله بی‌معامله** *No-Deal*	یک معامله‌ی خاص با سودمندی صفر برای همه‌ی عامل‌ها $\delta^- \in \Delta$ $\forall i \in Ag \quad (u_i(\delta^-) = 0)$

مسئله‌ی چانه‌زنی *Bargaining Problem*: یافتن یک پروتکل f که برای همه‌ی عامل‌ها به بهترین معامله منجر شود.

انواع چانه‌زنی

Bargaining Types

چانه‌زنی اصل‌موضوعی
Axiomatic Bargaining

تعدادی اصل موضوع، شرایط معامله‌ی بهینه را مشخص می‌کند:

$$u^*(\delta^*) = (u_1(\delta^*), u_2(\delta^*))$$

چانه‌زنی استراتژیک
Strategic Bargaining

به‌چانه‌زنی به‌عنوان یک بازی استراتژیک نگاه می‌کنیم.

چانه‌زنی اصل‌موضوعی

Axiomatic Bargaining

چانه‌زنی اصل‌موضوعی *Axiomatic Bargaining*	اصول موضوع لازم برای معامله‌ی بهینه‌ی سراسری:

$$u^*(\delta^*) = (u_1(\delta^*), u_2(\delta^*))$$

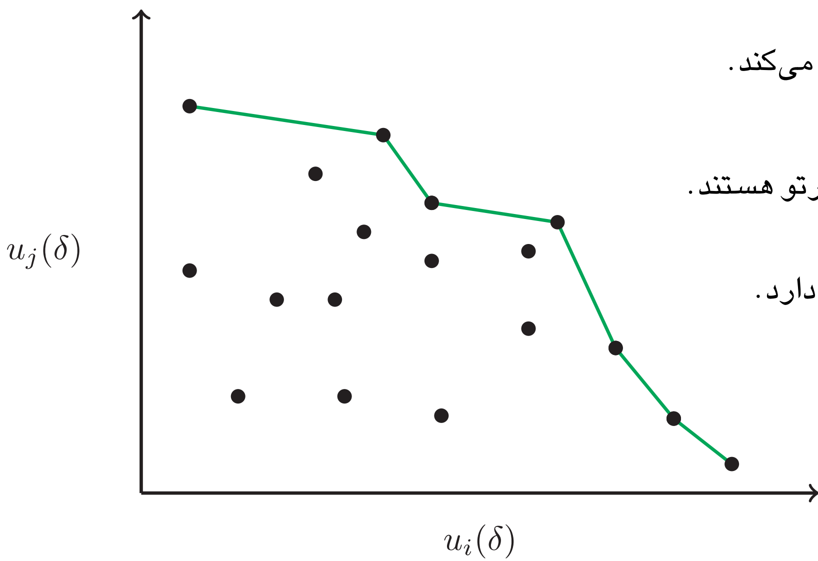
تغییرناپذیری *Invariance*	مقادیر مطلق توابع سودمندی مهم نیست، بلکه مقادیر نسبی آنها مهم است.
تقارن *Symmetry*	جابجا کردن عامل‌ها نباید بر راه‌حل تأثیر بگذارد.
جایگزینی‌های نامربوط *Irrelevant Alternatives*	اگر Δ کوچک‌تر شود، اما δ^* از آن حذف نشود، راه‌حل باید همچنان δ^* بماند.
بهینگی پارتو *Pareto Optimality*	هیچ عاملی نباید بتواند سودمندی بالاتری به‌دست آورد بدون اینکه سودمندی عامل دیگری را کاهش دهد.

چانه‌زنی اصل‌موضوعی

بهینگی پارتو

Pareto Optimality

بهینگی پارتو *Pareto Optimality*	هیچ عاملی نباید بتواند سودمندی بالاتری به‌دست آورد بدون اینکه سودمندی عامل دیگری را کاهش دهد.



هر نقطه یک معامله‌ی ممکن را بازنمایی می‌کند.

نقاط روی منحنی سبز رنگ، بهینه‌ی پارتو هستند.

منحنی سبز رنگ،
جبهه‌ی پارتو *(Pareto Frontier)* نام دارد.

چانه‌زنی اصل‌موضوعی

راه‌حل‌های مختلف

Axiomatic Bargaining

راه‌حل مساوات‌گرا *Egalitarian Solution*	بهره‌های همکاری باید به‌صورت مساوی بین عامل‌ها تقسیم شود.
راه‌حل رفاه اجتماعی مساوات‌گرا *Egalitarian Social Welfare Solution*	بهترین معامله آن است که سودمندی دریافت شده توسط عامل دارای پایین‌ترین سودمندی، ماکزیمم شود.
راه‌حل سودمندی‌گرا *Utilitarian Solution*	بهترین معامله آن است که مجموع سودمندی‌های عامل‌ها را ماکزیمم کند.
راه‌حل چانه‌زنی نش *Nash Bargaining Solution*	بهترین معامله آن است که حاصلضرب سودمندی‌های عامل‌ها را ماکزیمم کند.
راه‌حل کالای-اسمورودینسکی *Kalai-Smorodinsky Solution*	بهترین معامله آن است که سودمندی حاصل را متناسب با حداکثر سودی که هر یک از عامل‌ها می‌توانستند به‌دست آورند، تقسیم می‌کند.

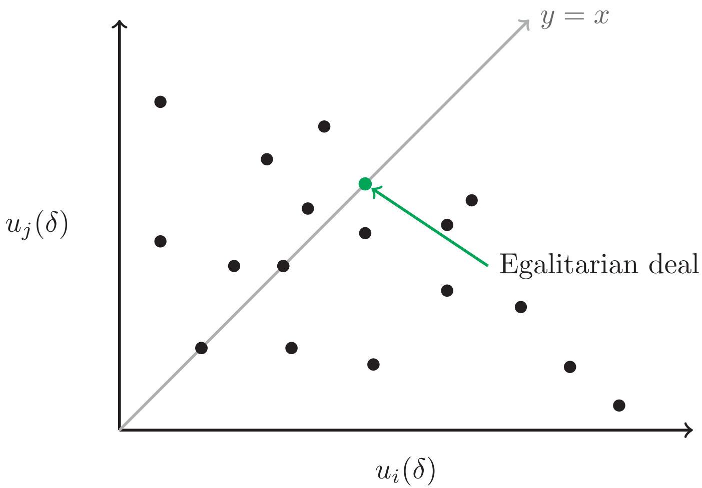
بر روی اینکه کدام یک از راه‌حل‌های اصل موضوعی فوق بهتر است، توافقی وجود ندارد.

چانه‌زنی اصل‌موضوعی

راه‌حل‌های مختلف: راه‌حل مساوات‌گرا

EGALITARIAN SOLUTION

راه‌حل مساوات‌گرا *Egalitarian Solution*	بهره‌های همکاری باید به‌صورت مساوی بین عامل‌ها تقسیم شود.



$$\delta = \arg\max_{\delta' \in E} \sum_i u_i(\delta')$$

$$E = \{\delta \mid \forall_{i,j} u_i(\delta) = u_j(\delta)\}.$$

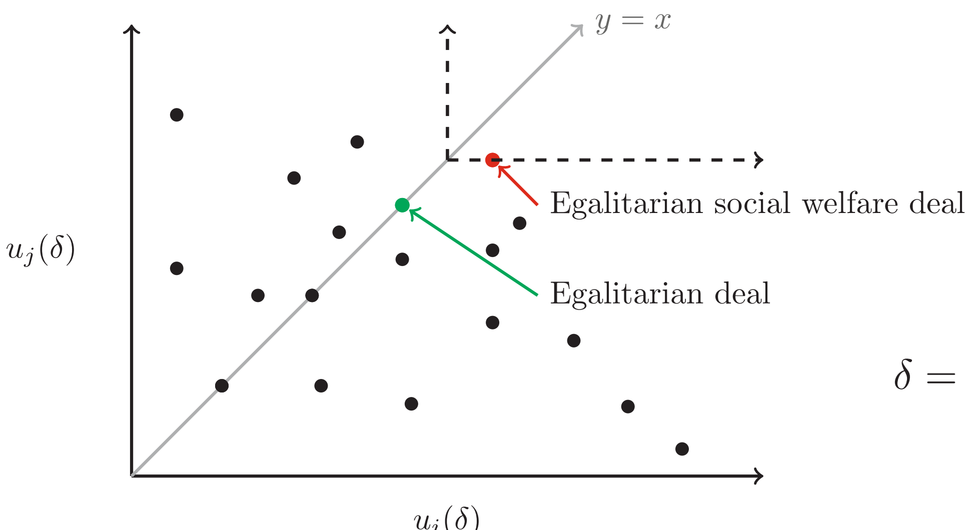
برای دو عامل:
خط $y = x$ را رسم می‌کنیم و
دورترین معامله از مبدأ را روی این خط می‌یابیم.

چانه‌زنی اصل‌موضوعی

راه‌حل‌های مختلف: راه‌حل رفاه اجتماعی مساوات‌گرا

Egalitarian Social Welfare Solution

راه‌حل رفاه اجتماعی مساوات‌گرا *Egalitarian Social Welfare Solution*	بهترین معامله آن است که سودمندی دریافت شده توسط عامل دارای پایین‌ترین سودمندی، ماکزیمم شود.



$$\delta = \arg\max_{\delta} \min_{i} u_i(\delta).$$

برای دو عامل:
مرکز دستگاه مختصات را روی خط $y = x$ حرکت می‌دهیم
تا دورترین معامله از مبدأ روی این دستگاه پیدا شود.

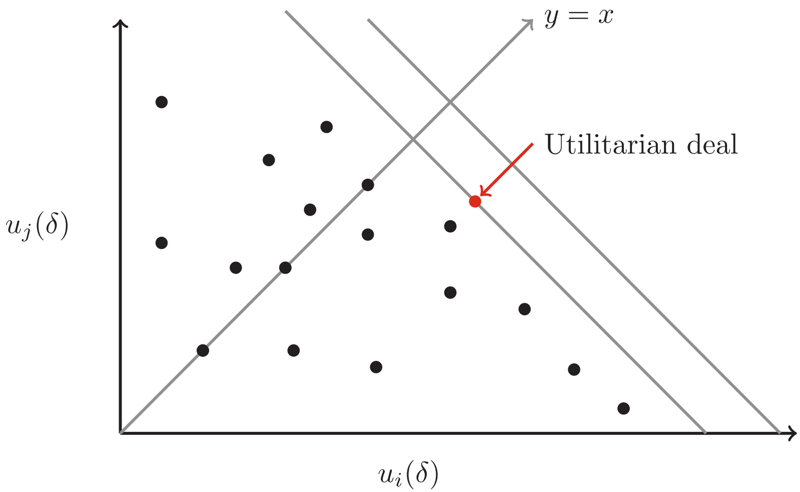
Prepared by Kazim Fouladi | Fall 2017 | 3rd Edition
کاظم فولادی

چانه‌زنی اصل‌موضوعی

راه‌حل‌های مختلف: راه‌حل سودمندی‌گرا

Utilitarian Solution

راه‌حل سودمندی‌گرا *Utilitarian Solution*	بهترین معامله آن است که مجموع سودمندی‌های عامل‌ها را ماکزیمم کند.



$$\delta = \arg\max \sum_i u_i(\delta).$$

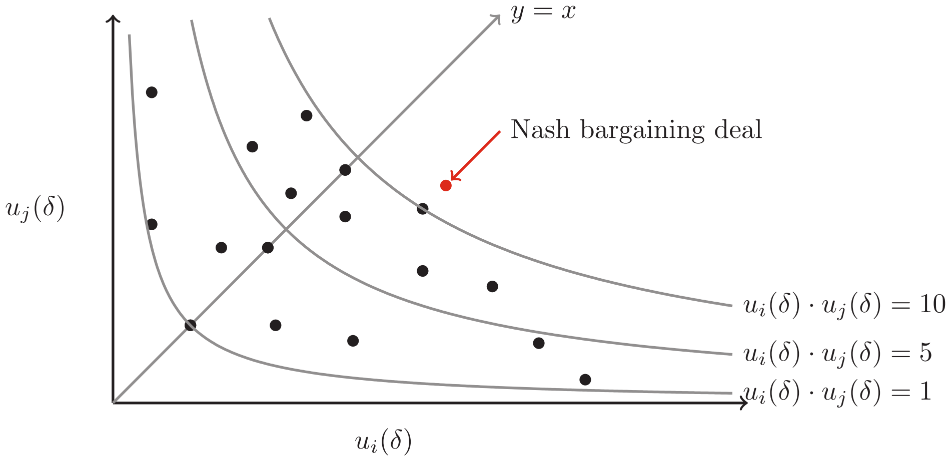
برای دو عامل:
خط $y = -x + b$ (عمود بر $y = x$) با عرض از مبدأ بی‌نهایت را در نظر می‌گیریم.
این‌قدر عرض از مبدأ را کاهش می‌دهیم تا با اولین معامله برخورد کند.

چانه‌زنی اصل‌موضوعی

راه‌حل‌های مختلف: راه‌حل چانه‌زنی نش

NASH BARGAINING SOLUTION

راه‌حل چانه‌زنی نش *Nash Bargaining Solution*	بهترین معامله آن است که حاصلضرب سودمندی‌های عامل‌ها را ماکزیمم کند.



$$\delta = \arg\max_{\delta'} \prod u_i(\delta').$$

راه‌حل نش، هم بهنیه‌ی پارتو، هم مستقل از واحدهای سودمندی، متقارن، مستقل از جایگزین‌های نامربوط است.

و تنها راه‌حلی است که این چهار اصل موضوع را رعایت می‌کند.

برای دو عامل:

منحنی $y = c/x$ را در نظر می‌گیریم (روی هر منحنی حاصلضرب ثابت و برابر c است).

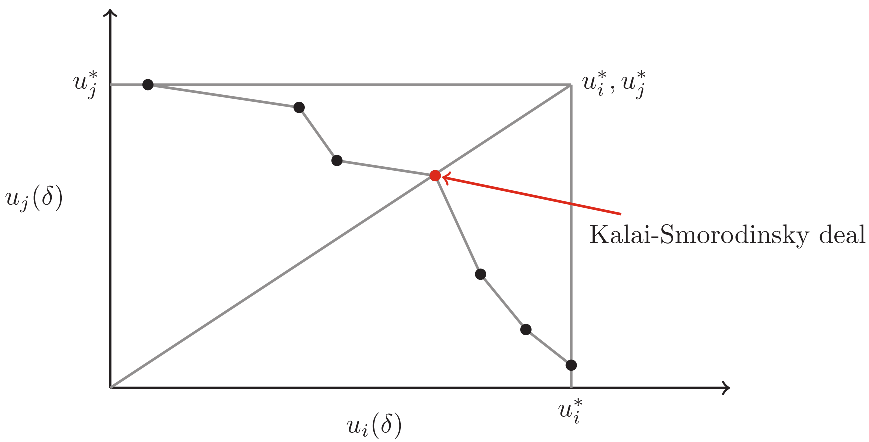
با حرکت روی $y = x$ به سمت شمال‌شرقی نقطه‌ای را می‌یابیم که روی دورترین منحنی نسبت به مبدأ قرار دارد.

چانه‌زنی اصل‌موضوعی

راه‌حل‌های مختلف: راه‌حل کالای–اسموردینسکی

Kalai-Smorodinsky Solution

راه‌حل کالای–اسموردینسکی *Kalai-Smorodinsky Solution*	بهترین معامله آن است که سودمندی حاصل را متناسب با حداکثر سودی که هر یک از عامل‌ها می‌توانستند به‌دست آورند، تقسیم می‌کند.



برای دو عامل:

جبهه‌ی پارتو را در نظر می‌گیریم. اگر بیشترین سودمندی هر یک از عامل‌ها روی این جبهه (u_i^*,u_j^*) بود، یک خط از مبدأ (δ^-) تا این نقطه رسم می‌کنیم. محل تقاطع این خط با یک معامله روی جبهه پارتو پاسخ مسئله است (ممکن است وجود نداشته باشد).

چانه‌زنی استراتژیک

STRATEGIC BARGAINING

چانه‌زنی استراتژیک *Strategic Bargaining*	به‌چانه‌زنی به‌عنوان یک بازی استراتژیک نگاه می‌کنیم. عامل‌ها را **رسیونال** فرض می‌کنیم و استراتژی **تعادل** را برای فرآیند چانه‌زنی می‌یابیم.

چانه‌زنی استراتژیک

مدل پیشنهادهای جایگزین روبینشتاین

Rubinstein's Alternating Offers Model

مدل پیشنهادهای جایگزین روبینشتاین

Rubinstein's Alternating Offers Model

در هر گام زمانی، یکی از عامل‌ها معامله‌ی δ را به دیگری پیشنهاد می‌دهد.

عامل دیگر می‌پذیرد یا نمی‌پذیرد.

اگر این عامل نپذیرد، در گام زمانی بعدی معامله‌ی دیگر δ را به عامل دیگر پیشنهاد می‌دهد.

هرگاه معامله‌ای رد شد، حذف می‌شود و دیگر بعداً نمی‌تواند پذیرفته شود.

عامل‌ها برای پیشنهاد هر معامله‌ای و نیز پذیرش یا رد هر معامله‌ای آزاد هستند.

عامل‌ها از توابع سودمندی یکدیگر آگاه هستند.

این معامله استراتژی غالب ندارد!

چانه‌زنی استراتژیک

مدل پیشنهادهای جایگزین روبینشتاین با فاکتور تخفیف

Rubinstein's Alternating Offers Model with Discount Factor

مدل پیشنهادهای جایگزین روبینشتاین با فاکتور تخفیف

Rubinstein's Alternating Offers Model with Discount Factor

زمان برای عامل‌ها ارزش دارد:

سودمندی همه‌ی معامله‌های ممکن با گذر زمان کاهش می‌یابد.

برای هر عامل i یک فاکتور تخفیف λ_i (بین صفر و یک) در نظر می‌گیریم.

سودمندی برای عامل i در زمان t عبارت است از:

$$(\lambda_i)^t u_i(\delta)$$

سودمندی هر دو عامل به‌صورت یکنوا در قالب تابعی از زمان با فاکتور تخفیف کاهش می‌یابد.

سودمندی هر دو عامل مکمل یکدیگر است: $u_i(\delta) = \delta,\ \ u_j(\delta) = 1 - \delta$

در این حالت، یک استراتژی تعادل کامل یکتا وجود دارد.

می‌توانید به مسئله‌ی تقسیم یک بستنی فکر کنید
که با گذر زمان بستنی ذوب می‌شود
و ما بستنی ذوب شده نمی‌خواهیم!

چانه‌زنی استراتژیک

مدل پیشنهادهای جایگزین روبینشتاین با فاکتور تخفیف : مثال

Rubinstein's Alternating Offers Model with Discount Factor

$$\delta = 0.9$$

Round	1's share	2's share	Total value	Offerer
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$n-3$	0.819	0.181	0.9^{n-4}	2
$n-2$	0.91	0.09	0.9^{n-3}	1
$n-1$	0.9	0.1	0.9^{n-2}	2
n	1	0	0.9^{n-1}	1

چانه‌زنی استراتژیک

مدل پیشنهادهای جایگزین روبینشتاین با فاکتور تخفیف : قضیه

RUBINSTEIN’S ALTERNATING OFFERS MODEL WITH DISCOUNT FACTOR

Theorem (Alternating Offers Bargaining Strategy). *The Rubinstein's alternating offers game where the agents have complementary linear utilities has a unique subgame perfect equilibrium strategy where*

- *agent i proposes a deal*

$$\boxed{\delta_i^* = \frac{1-\lambda_j}{1-\lambda_i\lambda_j}}$$

and accepts the offer δ_j from j only if $u_i(\delta_j) \leq u_i(\delta_j^*)$,

- *agent j proposes a deal*

$$\delta_j^* = \frac{1-\lambda_i}{1-\lambda_i\lambda_j}$$

and accepts the offer δ_i from i only if $u_j(\delta_i) \leq u_j(\delta_i^*)$.

(Rubinstein, 1982; Muthoo, 1999).

این قضیه بیان می‌کند که بهترین استراتژی برای این عامل‌ها پیشنهاد دادن یک معامله
در اولین گام زمانی است که توسط عامل دیگر پذیرفته می‌شود.

چانه‌زنی استراتژیک

مدل پیشنهادهای جایگزین روبینشتاین با فاکتور تخفیف : اثبات قضیه

RUBINSTEIN'S ALTERNATING OFFERS MODEL WITH DISCOUNT FACTOR

We can understand how these deals are derived by noting that since both agents have utilities that decrease with time the best deal will be reached in the first step. That means that each agent must propose a deal that the other will accept. Specifically, agent i must propose a deal δ_i^* such that $u_j(\delta_i^*) = \lambda_j u_j(\delta_j^*)$ because if it proposes a deal that gives j lower utility then j will reject it and if it proposes a deal that gives j higher utility then i is needlessly giving up some of its own utility. Conversely, j must propose a deal δ_j^* such that $u_i(\delta_j^*) = \lambda_i u_i(\delta_i^*)$. We thus have two equations.

Since $u_i(\delta) = \delta$ and $u_j(\delta) = 1 - \delta$, we can replace these definitions into the above equations to get

$$1 - \delta_i^* = \lambda_j (1 - \delta_j^*)$$
$$\delta_j^* = \lambda_i \delta_i^*.$$

Upon solving these two equations for δ_i^* and δ^* we get the equilibrium values

پروتکل اعطای یکنوا

The Monotonic Concession Protocol

پروتکل اعطای یکنوا

The Monotonic Concession Protocol

MONOTONIC-CONCESSION

$\delta_i \leftarrow \arg\max_\delta u_i(\delta)$
Propose δ_i
Receive δ_j proposal
if $u_i(\delta_j) \geq u_i(\delta_i)$
    then Accept δ_j
    else $\delta_i \leftarrow \delta_i'$ such that $u_j(\delta_i') \geq \epsilon + u_j(\delta_i)$ and $u_i(\delta_i') \geq u_i(\delta^-)$
goto 2

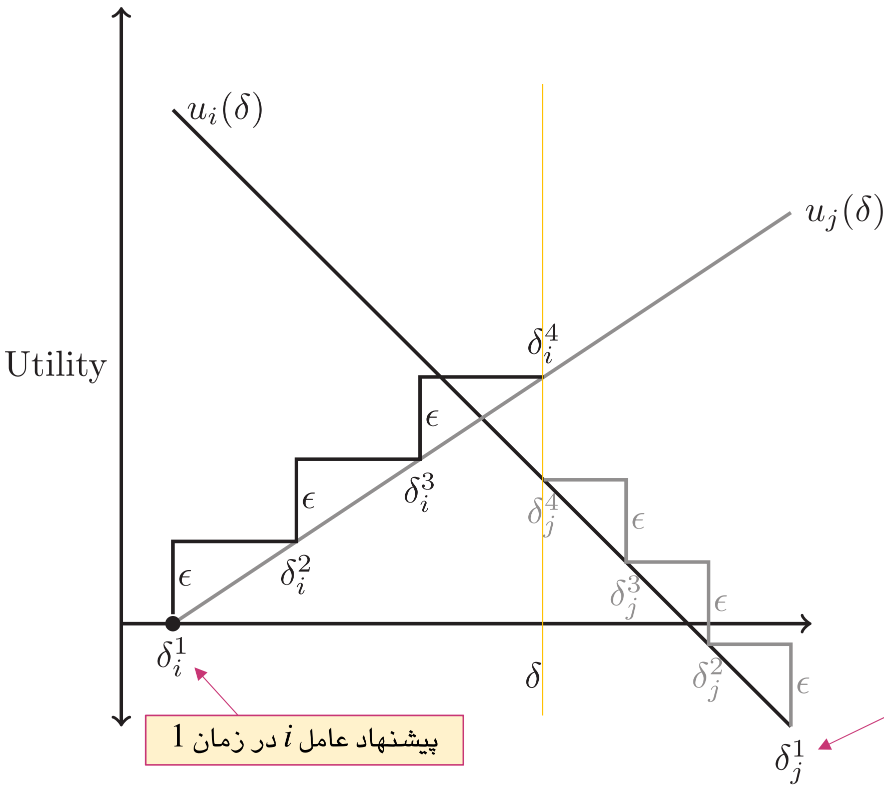
در این پروتکل عامل‌ها همیشه موافق هستند که
پیشنهادی کمی بهتر از پیشنهاد قبلی به عامل دیگر بدهند.

هر عامل ابتدا با بهترین پیشنهاد برای خودش شروع می‌کند.
سپس پیشنهاد مشابهی را از عامل دیگر دریافت می‌کند.
اگر سودمندی عامل به‌ازای پیشنهاد دریافتی از سودمندی عامل به‌ازای پیشنهاد خودش بهتر بود، می‌پذیرد و تمام.
وگرنه پیشنهادی را می‌دهد که برای عامل دیگر حداقل به‌اندازه‌ی ε بهتر شود و برای خودش بهتر از بی‌معامله باشد.

پروتکل اعطای یکنوا

مثال

THE MONOTONIC CONCESSION PROTOCOL



هر دو عامل تابع سودمندی خطی بر روی مجموعه‌ی معامله‌ها دارند:

بالانویس‌ها زمان را نشان می‌دهند.

در زمان 4 داریم

$$\delta_i^4 = \delta_j^4$$

پس

$$u_i(\delta_i^4) = u_i(\delta_j^4)$$

پس دو عامل روی این معامله توافق می‌کنند.

پروتکل اعطای یکنوا

THE MONOTONIC CONCESSION PROTOCOL

پروتکل اعطای یکنوا
The Monotonic Concession Protocol

استراتژی ساده: همیشه حداقل به میزان ε به دیگری ببخشید!

اگر عاملی بداند که دیگری همیشه می‌بخشد، آن‌گاه ممکن است انتخاب کند که خودش اصلاً نبخشد!

استراتژی هوشمندانه‌تر: رفتار عامل رقیب را می‌سنجیم و متناسب بخشش او، می‌بخشیم.

استراتژی زئوثن
The Zeuthen Strategy

پروتکل اعطای یکنوا

استراتژی زئوثن

THE ZEUTHEN STRATEGY

استراتژی زئوثن
The Zeuthen Strategy

تمایل به ریسک در شکست مذاکره برای عامل i را به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\mathrm{risk}_i = \frac{u_i(\delta_i) - u_i(\delta_j)}{u_i(\delta_i)}.$$

هر عامل می‌تواند ریسک را برای هر دو عامل محاسبه کند.

استراتژی زئوثن بیان می‌کند که عامل دارای کمترین ریسک باید به‌میزانی ببخشد که مجبور نشود در گام بعدی مجدداً ببخشد:

پس عاملی که با بخشش چیز کمتری را از دست می‌دهد باید ببخشد.

پروتکل اعطای یکنوا

استراتژی زئوثن

THE ZEUTHEN STRATEGY

استراتژی زئوثن

The Zeuthen Strategy

ZEUTHEN-MONOTONIC-CONCESSION

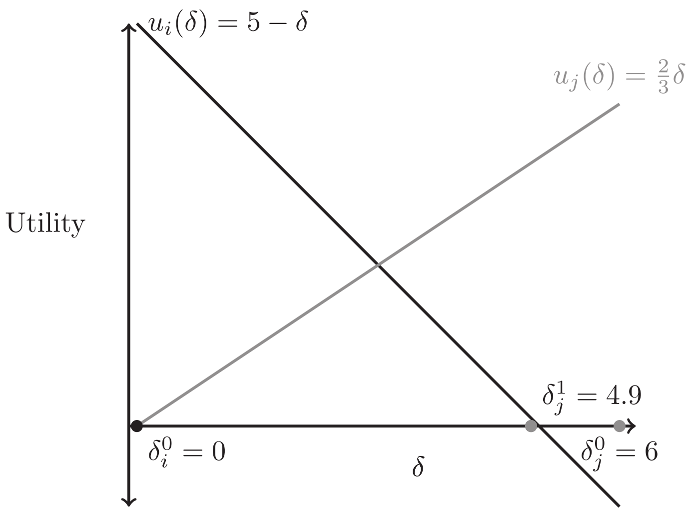
```
1   δ_i ← arg max_δ u_i(δ)
2   Propose δ_i
3   Receive δ_j proposal
4   if u_i(δ_j) ≥ u_i(δ_i)
5       then Accept δ_j
6   risk_i ← (u_i(δ_i) − u_i(δ_j)) / u_i(δ_i)
7   risk_j ← (u_j(δ_j) − u_j(δ_i)) / u_j(δ_j)
8   if risk_i < risk_j
9       then δ_i ← δ'_i such that risk_i(δ'_i) > risk_j(δ'_j)
10              goto 2
11  goto 3
```

$$\delta_i \leftarrow \arg\max_\delta u_i(\delta), \quad \text{risk}_i \leftarrow \frac{u_i(\delta_i)-u_i(\delta_j)}{u_i(\delta_i)}, \quad \text{risk}_j \leftarrow \frac{u_j(\delta_j)-u_j(\delta_i)}{u_j(\delta_j)}$$

پروتکل اعطای یکنوا

استراتژی زئوثن: مثال

THE ZEUTHEN STRATEGY



نمایش گرافیکی گام اول در استراتژی زئوثن:

پس از پیشنهادهای آغازین،
عامل‌ها ریسک‌هایشان را محاسبه می‌کنند:

$$\text{risk}_i^0 = \frac{5-(-1)}{5} = \frac{6}{5}$$

$$\text{risk}_j^0 = \frac{4-0}{4} = 1.$$

از آنجا که j ریسک کوچکتری دارد، باید ببخشد:
معامله‌ی جدید باید به‌گونه‌ای باشد که j مجبور نشود
در گام بعدی مجدد ببخشد، پس باید مطمئن شود که:

$$\text{risk}_i = \frac{5-(5-\delta_j)}{5} < \frac{\frac{2}{3}\delta_j - 0}{\frac{2}{3}\delta_j} = \text{risk}_j$$

که نتیجه می‌دهد: $\delta_j < 5$
پس j مقدار معامله‌ای کمتر از 5 را انتخاب می‌کند: 4.9

پروتکل اعطای یکنوا

استراتژی زئوثن: ویژگی‌ها

The Zeuthen Strategy

استراتژی زئوثن

The Zeuthen Strategy

تضمین می‌کند که **خاتمه** بیاید.

توافق حاصل شده در هنگام خاتمه، **رسیونال انفرادی** و **بهینه‌ی پارتو** است.

ثابت می‌شود که: دو عامل با استفاده از استراتژی زئوثن به یک **راه‌حل چانه‌زنی نش** همگرا می‌شوند.

Theorem 6.2 (Zeuthen converges to Nash solution). *If both agents use the Zeuthen strategy they will converge to a Nash bargaining solution deal, that is, a deal that maximizes the product of the utilities (Harsanyi, 1965).*

مشکل استراتژی زئوثن: در حالتی که در گام آخر ریسک‌های دو عامل دقیقاً مساوی شود.

پروتکل مذاکره‌ی تک‌مرحله‌ای

One-Step Protocol

پروتکل تک‌مرحله‌ای
One-Step Protocol

ONE-STEP-NEGOTIATION

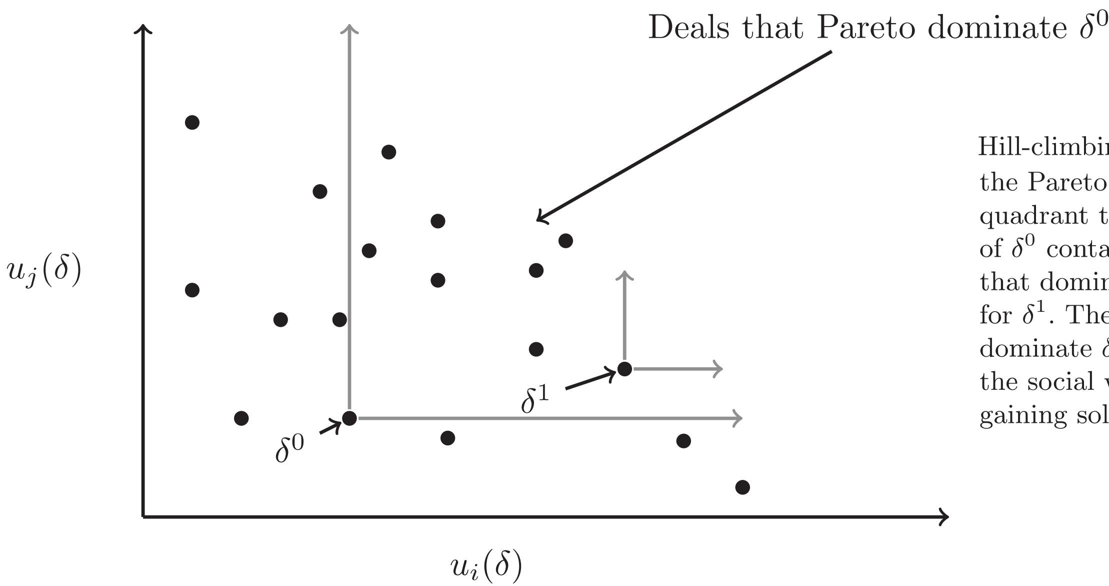
$E \leftarrow \{\delta \mid \forall_{\delta'} u_i(\delta)u_j(\delta) \geq u_i(\delta')u_j(\delta')\}$
$\delta_i \leftarrow \arg\max_{\delta \in E} u_i(\delta)$
Propose δ_i
Receive δ_j
if $u_i(\delta_j)u_j(\delta_j) < u_i(\delta_i)u_j(\delta_i)$
  then Report error, j is not following strategy.
Coordinate with j to choose randomly between δ_i and δ_j.

از هر دو عامل می‌خواهیم همزمان بهترین پیشنهاد را ارائه بدهند (تعادل نش).
هر عامل دو پیشنهاد دارد: یک پیشنهاد می‌دهد و یک پیشنهاد می‌گیرد.
عامل باید پیشنهادی را بپذیرد که حاصلضرب سودمندی‌های دو عامل برای آن بیشتر باشد.
اگر گره به‌وجود آمد، با هم هماهنگ می‌کنند و به‌صورت تصادفی آن را رفع می‌کنند.

عامل‌های کاملاً رسیونال بهتر است از این الگوریتم تک مرحله‌ای استفاده کنند تا الگوریتم‌های بخشش پی‌درپی طولانی

راه‌حل مسئله‌ی مذاکره از طریق جستجوی توزیع‌شده

Negotiation as Distributed Search



Hill-climbing on the Pareto landscape. The quadrant to the top and right of δ^0 contains all the deals that dominate δ^0, similarly for δ^1. There are no deals that dominate δ^1 and yet it is not the social welfare or Nash bargaining solution.

جستجو با شروع از یک معامله‌ی آغازین و در هر گام زمانی رفتن به یک معامله‌ی دیگر.
این فرآیند آن‌قدر تکرار می‌شود تا هیچ معامله‌ی دیگری وجود نداشته باشد که عامل‌ها روی آن توافق کنند.

هزینه‌های چانه‌زنی

Bargaining Costs

Bargaining Costs

Agent 1 pays c_1, agent 2 pays c_2.

$\mathbf{c_1 = c_2}$: Any split is in Nash-equilibrium.

$\mathbf{c_1 < c_2}$: Agent 1 gets all.

$\mathbf{c_1 > c_2}$: Agent 1 gets c_2, agent 2 gets $1 - c_2$.

چانه‌زنی

منابع

منبع اصلی

Fundamentals *of*
Multiagent Systems
with NetLogo Examples
José M Vidal

December 18, 2012

José M Vidal,
Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples,
Unpublished, 2012.
Chapter 6

Chapter 6

Negotiation

DEAL

A negotiation problem is one where multiple agents try to come to an agreement or **deal**. Each agent is assumed to have a preference over all possible deals. The agents send messages to each other in the hope of finding a deal that all agents can agree on. These agents face an interesting problem. They want to maximize their own utility but they also face the risk of a break-down in negotiation, or expiration of a deadline for agreement. As such, each agent must negotiate carefully, trading off any utility it gains from a tentative against a possibly better deal or the risk of a breakdown in negotiation.

decide whether the current deal is good enough or whether it should ask for more and risk agreement failure.

Automated negotiation can be very useful in multiagent systems as it provides a distributed method of aggregating distributed knowledge. That is, in a problem where each agent has different local knowledge negotiation can be an effective method for finding the one global course of action which maximizes utility without having to aggregate all local knowledge in a central location. In fact, the metaphor of autonomous agents cooperating in this manner to solve a problem that cannot be solved by any one agent, due to limited abilities or knowledge, was the central metaphor from which the field of distributed artificial intelligence, later known as multiagent systems, emerged (Davis and Smith, 1983). The metaphor is based on the observation that teams of scientists, businesses, citizens, and others regularly negotiate over future courses of action and the result of these negotiations can incorporate more knowledge than any one individual possesses (Surowiecki, 2005). For example, in a NASA rover mission to Mars the various engineering teams and science teams negotiate over what feature to include in the rover. The scientists are concerned with having the proper equipment in Mars so that they can do good science while the engineers try to ensure that everything will work as expected. Often it is the case that one side does not understand exactly why the other wants or rejects a particular feature but by negotiating with each other they arrive at a rover that is engineered solidly enough to survive the trip to Mars and has enough equipment to do useful science while there. Thus, negotiation results in the aggregation of knowledge from multiple individuals in order to make decisions which are better, for the whole, than if they were made by any one individual.

See (Squyres, 2005) for the full story on the MER mission to Mars. An exciting read.

6.1 The Bargaining Problem

BARGAINING PROBLEM

A specific version of the negotiation problem has been studied in game theory. It is known as the **bargaining problem** (Nash, 1950). In the bargaining problem, we say that each agent i has a utility function u_i defined over the set of all possible deals Δ. That is, $u_i : \Delta \rightarrow \Re$. We also assume that there is a special deal δ^- which is the no-deal deal. Without loss of generality we will assume that for all agents $u_i(\delta^-) = 0$ so that the agents will prefer no deal than accepting any deal with negative utility. The problem then is finding a protocol f which will lead the agents to the best deal. But, as with all the game theory we have studied, it is not obvious which deal is the best one. Many solutions concepts have been proposed. We provide an overview of them in the next sections.

See (Osborne and Rubinstein, 1999, Chapter 7) or (Osborne and Rubinstein, 1990) for a more extended introduction to bargaining.