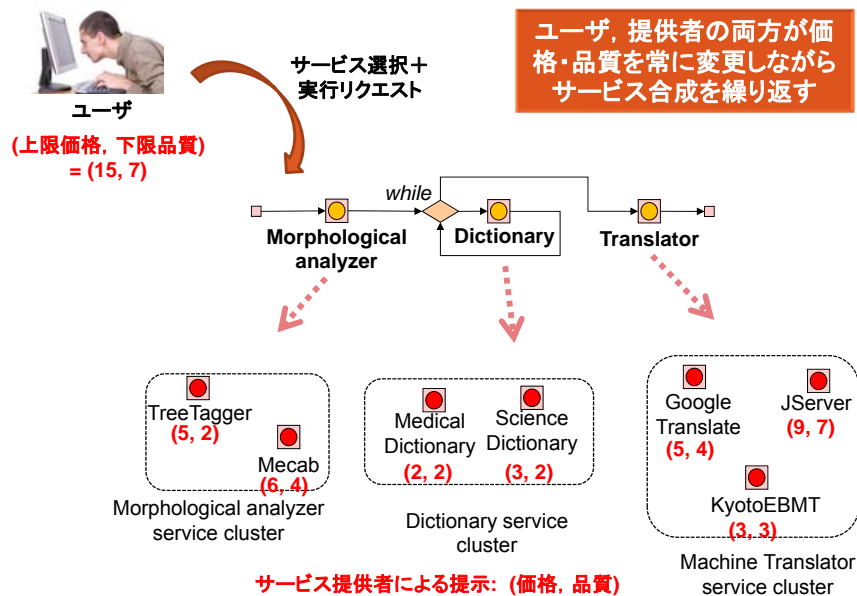


クラウド環境におけるサービス連携 のための利益配分モデル

情報通信研究機構
田仲正弘

背景：クラウド環境における 柔軟なリソース配分

- 提供者: 価格・品質(=割り当てる計算機リソース, コスト)の調整が容易
- 利用者: 上限価格と下限品質の制約を満たす複合サービスを構成



動機：フリーライダー出現の防止

不当な価格・品質の設定

- ユーザによる低価格・高品質なサービスの要求
 - 一部の提供者による高価格・低品質なサービスの提示
- 複合サービスの価格と品質はその全体で計られる
- 一部のサービス提供者が低品質かつ高価格なサービスを提供し, 大きな利益を得るフリーライダーとなり得る
 - 全てのサービス提供者が低品質かつ高価格に設定すると, 複合サービス全体の価格と品質の制約を満たせなくなり, 利益が全く得られなくなる

社会的ジレンマの発生

目的: 利益配分モデルの提案

利己的な価格・品質の決定を防ぎ, 長期的に全体の利得を向上

アプローチ

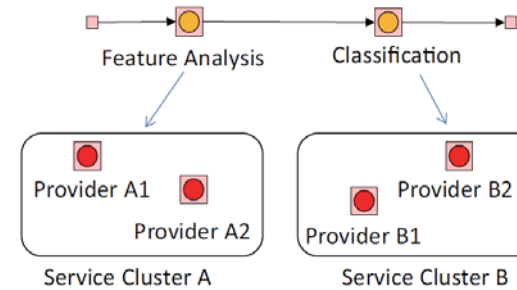
- 利益配分を工夫
 - 全体の品質に基づいて利益を配分
 - 協調な振る舞いに誘導
- マルチエージェントシミュレーションによって有効性を確認

モデル

ユーザによる上限価格・下限品質: (P, Q)

提供者*i,j*による提示価格・品質: (p_{ij}, q_{ij})
(クラス*i*, *j*番目の提供者)

例題



$(P, Q) = (10, 5)$
 $(p_{A1}, q_{A1}) = (5, 3)$
 $(p_{A2}, q_{A2}) = (4, 2)$
 $(p_{B1}, q_{B1}) = (4, 2)$
 $(p_{B2}, q_{B2}) = (7, 6)$

モデル

仮定

- 複合サービスの価格・品質は, 共に構成要素の価格・品質の単純な総和とする
- 同じサービスクラス内のサービスには, 任意の割合でタスクを配分可能とする

制約

$$P_{TOTAL} = \sum_{i,j} \alpha_{ij} p_{ij} \leq P$$

$$Q_{TOTAL} = \sum_{i,j} \alpha_{ij} q_{ij} \geq Q$$

$$\forall i, j \alpha_{ij} \geq 0$$

$$\forall i \sum_j \alpha_{ij} = 1$$

α_{ij} : 提供者*i,j*への配分割合

利益の計算

例題

- 制約を満たすA1, B1を選ぶ
- ユーザは複合サービスを品質×5の価格で販売できるとする

利益 = 価格 - 品質(コスト) と仮定

初期状態

$(P, Q) = (10, 5)$
 $(p_{A1}, q_{A1}) = (5, 3)$
 $(p_{A2}, q_{A2}) = (4, 2)$
 $(p_{B1}, q_{B1}) = (4, 2)$
 $(p_{B2}, q_{B2}) = (7, 6)$

A1, B1を選択



- ユーザの利益:
 $5 \times 5 - 10 = 15$
- A1の利益: $5 - 3 = 2$
- B1の利益: $4 - 2 = 2$

インセンティブの設定

全体の品質が上がると提供者の利益も上がるようにする

Step 0: 初期状態

$$\begin{aligned} (P, Q) &= (10, 5) \\ (p_{A1}, q_{A1}) &= (5, 3) \\ (p_{A2}, q_{A2}) &= (4, 2) \\ (p_{B1}, q_{B1}) &= (4, 2) \\ (p_{B2}, q_{B2}) &= (7, 6) \end{aligned}$$



- ユーザの利益:
 $5 \times 5 - 10 = 15$
- A1の利益: $5 - 3 = 2$
- B1の利益: $4 - 2 = 2$

全体の品質の60%を価格に上乗せ
→ Step 1: A1が品質を改善

$$\begin{aligned} (P, Q) &= (10, 5) \\ (p_{A1}, q_{A1}) &= (5, 3) \rightarrow (5, 4) \\ (p_{A2}, q_{A2}) &= (4, 2) \\ (p_{B1}, q_{B1}) &= (4, 2) \\ (p_{B2}, q_{B2}) &= (7, 6) \end{aligned}$$



- ユーザの利益:
 $5 \times 6 - 5 - 4 - 2 \times 0.6 \times 6 = 13.8$ ▼
- A1の利益:
 $5 - 4 + 0.6 \times 6 = 4.6$ ▲
- B1の利益:
 $4 - 2 + 0.6 \times 6 = 5.6$ ▲

インセンティブの設定

Step 1: A1が品質を改善

$$\begin{aligned} (P, Q) &= (10, 5) \\ (p_{A1}, q_{A1}) &= (5, 3) \rightarrow (5, 4) \\ (p_{A2}, q_{A2}) &= (4, 2) \\ (p_{B1}, q_{B1}) &= (4, 2) \\ (p_{B2}, q_{B2}) &= (7, 6) \end{aligned}$$



- ユーザの利益:
 $5 \times 6 - 5 - 4 - 2 \times 0.6 \times 6 = 13.8$ ▼
- A1の利益:
 $5 - 4 + 0.6 \times 6 = 4.6$ ▲
- B1の利益:
 $4 - 2 + 0.6 \times 6 = 5.6$ ▲

Step 2: B1が品質を改善

$$\begin{aligned} (P, Q) &= (10, 5) \\ (p_{A1}, q_{A1}) &= (5, 3) \rightarrow (5, 4) \\ (p_{A2}, q_{A2}) &= (4, 2) \\ (p_{B1}, q_{B1}) &= (4, 2) \rightarrow (4, 3) \\ (p_{B2}, q_{B2}) &= (7, 6) \end{aligned}$$



- ユーザの利益:
 $5 \times 7 - 5 - 4 - 2 \times 0.6 \times 7 = 17.6$ ▲
- A1の利益:
 $5 - 4 + 0.6 \times 7 = 5.2$ ▲
- B1の利益:
 $4 - 3 + 0.6 \times 6 = 5.2$ ▼

モデル

ユーザの利益:

$$\begin{aligned} U &= k \sum_{i,j} \alpha_{ij} q_{ij} - \sum_{i,j} \alpha_{ij} p_{ij} - \sum_{i,j} \beta_{ij} \sum_{i,j} \alpha_{ij} q_{ij} \\ &= (k - \sum \beta_{ij}) Q_{TOTAL} - P_{TOTAL} \end{aligned}$$

提供者の利益:

$$\begin{aligned} u_{ij} &= \beta_{ij} \sum_{i,j} \alpha_{ij} q_{ij} + \alpha_{ij} p_{ij} - \alpha_{ij} q_{ij} \\ &= \alpha_{ij} (\beta_{ij} \sum_{i,j} q_{ij} + p_{ij} - q_{ij}) \end{aligned}$$

k: 品質と販売価格の比率
β: インセンティブの配分比率

シミュレーション

<試行される各ステップで>

- ユーザの上限価格・下限品質をランダムに変更
- 各提供者は、協調的 or 利己的行動を選択
 - 協調: 価格を一定値下げる / 品質を一定値上げる
 - 利己: 価格を一定値上げる / 品質を一定値下げる
 交渉不成立(ユーザの要求を満たせない)なら同値で継続
- 複数の提供者の戦略で試行
 - 自らの利得が全提供者の利得の平均を下回った際に、前回から戦略を変更(Win-stay, lose-change)
 - 自らの利得が全提供者の利得の平均以上であれば協調, 下回れば利己(Win-cooperate, lose-defect)
 - 前回の試行で半数以上が選択した戦略を選択 (Tit-for-tat)

アルゴリズム

REPEAT

(P, Q) ← ユーザが上限価格/下限品質を決定

FOR 各 s_i について

(p_i, q_i) ← s_i が価格・品質を決定

ENDFOR

a_i ← ユーザが s_i の配分を決定

IF 制約を満たす配分がない

繰り返しの初めに戻る

ENDIF

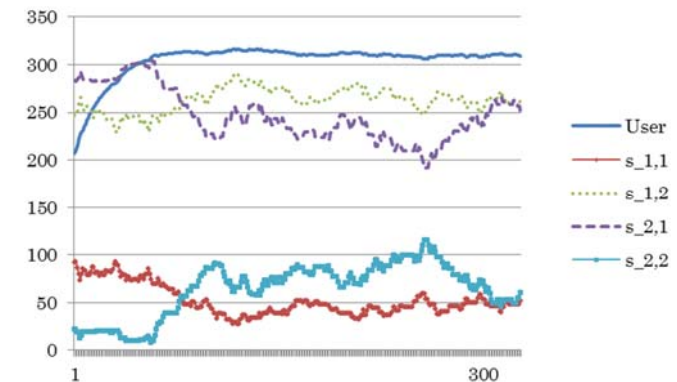
ユーザ, s_i の利得を計算

UNTIL 指定数の繰り返しが完了

- 配分 a_i の決定は、提示された価格・品質のもとでユーザの利得を最大化する数値を線形計画法で求める
- β_{ij} は一律に $2/N$ とした (N =サービス提供者の数). $\beta < 1/N, \beta > 1$ においては常に協調あるいは利己を取ることによって利益を最大化できる

利得の変化例

Win-stay, lose-changeの提供者を2グループ・各2体でシミュレーション



- ユーザの利益は初期状態から改善して安定
- 提供者の利益は変動するが安定せず
- エージェントの戦略によらず、傾向は同じ

まとめ

- 価格・品質を柔軟に設定可能なクラウド環境のための利益配分モデルを提案
 - ユーザ, サービス提供者の価格・品質の提示, 利益の計算モデルを提案
 - 複合サービス全体の品質に基づくインセンティブ(追加の報酬)を設定
- シミュレーションで有効性を確認
 - ユーザの利益は初期状態から改善して安定(提供者の利益は変動するが安定せず)
 - 試行した提供者の戦略においては、インセンティブがあると、より平等かつ全体で大きい利益に
- 今後の課題
 - モデル性質の調査
 - 取引成立割合
 - 協調/利己戦略の選択割合
 - 提供者数, グループ数の影響
 - より多様・より知的な戦略(Q-learningなど)を持つ提供者を対象としたシミュレーション