

木構造ソーシャルネットワークモデルにおける 戦略的操作不可能な住宅配分のメカニズムの設計

尤 博^{1,a)} 東藤 大樹¹ 横尾 真¹

概要：本研究では、ネットワーク上におけるテナント付き住宅割当問題を分析する。具体的には、木構造のソーシャルネットワークにおける新たなメカニズムを提案する。また、提案するメカニズムの性質を説明し、メカニズムが耐戦略性を満たすことを証明する。さらに、他のベースラインメカニズムと比較することで、提案メカニズムが効率的であることを示す。

1. はじめに

本研究では、テナント付きの住宅の割当問題を扱う [3]。住宅の割当問題は、エージェント同士の住宅交換により、より好ましい住宅を獲得する問題である [1]。ネットワークモデルは、メカニズムの参加者がネットワークを通じて情報を他のエージェントに伝達するモデルである [2]。ネットワークモデル上の、*social planner* と呼ばれるエージェントは可能な限りより多くのエージェントに情報を伝達しようとする。しかしながら、エージェントはできるだけ好ましい財を獲得しようとするため、利己的なエージェントは他のエージェントに故意に情報を伝達しない戦略的操作を行う可能性が存在する。したがって、耐戦略性を満たすメカニズムの設計は重要である。

すべての参加者が観測できるテナント付き住宅割当問題において、Abdulkadirog らは *You request my house-I get your turn (YI)* メカニズムを提案した [3]。また、1人1財のネットワーク上交換モデルにおいて、Kawasaki らは、*Top trading cycle (TTC)* により、限定された選好、または限定されたネットワーク構造に限り、耐戦略性を満たす割当を出力することを証明した [4]。

本研究では、木構造ネットワーク上テナント付き住宅割当モデルに対して、耐戦略性を満たすメカニズムを提案する。また、他のメカニズムと比較し、提案したメカニズムの効率性を示す。

2. モデル

本章ではネットワーク上の住宅割当問題のモデルを示す。

まず、住宅を持つエージェント (tenant) の集合を $A_E := \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ で表し、新しく来た住宅を持たないエージェント (newcomer) の集合を $A_N := \{a_{k+1}, a_{k+2}, \dots, a_n\}$ で表す。エージェント全体の集合を $A = A_E \cup A_N$ とする。そして、持ち主が存在する住宅を $H_O := \{o_1, o_2, \dots, o_k\}$ で表し、空き住宅を $H_V := \{h_{k+1}, h_{k+2}, \dots, h_m\}$ で表す。住宅全体の集合を $H = H_O \cup H_V$ とする。複数の住宅を持つエージェントは存在しない。主催者は参加者のために、充分な数の空き住宅を用意する。エージェントが交換に参加できなくなることによる、空き住宅の数の減少がないと設定する。交換が完了する際に、1人のエージェントに1つの住宅を割り当てる。ある特別な利己的でないエージェント $s \notin A$ が存在すると仮定する。 s はすべての空き住宅をあらかじめ所有し、配分を行う際に、持っている空き住宅を他のエージェントに割り当てる。

すべてのエージェントは各住宅に対して自身の選好を持つとし、エージェント i の選好を \succ_i とする。任意のエージェント $i \in A$ において、 $r_i \subseteq A \setminus \{i\}$ は i の子孫のうち、 i と隣接するエージェントの集合を表す。 i は情報をエージェント $j \in r_i$ に伝達しないことで、 j を配分から除くことが可能である。各エージェントの親は高々1人と設定し、ネットワークの構造は木とする。各エージェントは自身の真のタイプ $\theta_i = (\succ_i, r_i)$ を持っており、各エージェントは自身の任意の申告可能なタイプ $\theta'_i = (\succ'_i, r'_i)$ をメカニズムに対して申告する。ただし、 $r'_i \subseteq r_i$ とする。また、 i 以外のエージェントの選好の組を θ_{-i} とする。 $R(\theta_i)$ は実現し得るすべての θ'_i の集合を表す。エージェント i は θ'_i を申告し、メカニズム f により住宅を割り当てられる。 i が f によって割り当てられた住宅を $f_i(\theta) \in H$ とする。

ネットワーク上交換モデルにおけるメカニズムが有すべ

¹ 九州大学大学院システム情報科学府
819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地, (092)802-3576
a) youbo@agent.inf.kyushu-u.ac.jp

き性質として、耐戦略性を定義する。

定義 1 (耐戦略性). メカニズム f が耐戦略性を満たすとは、 $\forall a \in A, \forall \theta'_a \in R(\theta_a)$ かつ $\forall \theta'_{-a} \in R(\theta_{-a})$ において、 $f_a(\theta_a, \theta'_{-a}) \succeq_a f_a(\theta'_a, \theta'_{-a})$ を満たすことをいう。

耐戦略性は、子供に情報を秘匿せず、自身の選好に対しても嘘をつかない行動が支配戦略となることを保証する。また、効率性を評価する基準として、空き住宅に対する非浪費性を導入する。

定義 2 (空き住宅に対する非浪費性). メカニズム f が空き住宅に対する非浪費性を満たすとは、 $\forall a \in A, \forall \theta \in R(\theta)$, $\forall \tilde{h} \in H_V \setminus \{h' \mid \forall b \in A f_b(\theta) = h'\}$ において、 $f_a(\theta) \succ_a \tilde{h}$ を満たすことをいう。

3. 提案メカニズム

本章では、提案メカニズムを紹介し、その性質を考察する。まず、提案メカニズムの説明のため、距離順序を定義する。

定義 3 (距離順序). $\forall a \in A$, エージェント s から a までの距離を d_a で表す。順序 \triangleright が距離順序であるとは、 $\forall a, b \in A$ において、 $[d_a < d_b] \Rightarrow [a \triangleright b]$ を満たすことをいう。

以下に提案メカニズムの動作を示す。

Modified YI メカニズム まず、距離順序 \triangleright が定める 1 番目のエージェントは親、自分、子供が所有する住宅または空き住宅において、マーケットに残っている住宅の中で最も好む住宅を指す。住宅は誰にも所有されていない場合、エージェントに住宅を配分し、エージェントと住宅をマーケットから除く。住宅の所有者が存在するか cycle がない場合、住宅の所有者を順序 \triangleright の先頭に移動し、メカニズムの先頭へ戻る。住宅の所有者が存在するか cycle ができる場合、 cycle の中の全てのエージェントに各々が指した住宅を配分し、全てのエージェントと住宅を除く。残るエージェントが存在しない場合、配分を終了する。

以下では、提案メカニズムが満足する性質を議論する。

定理 1. 提案メカニズムは耐戦略性を満たす。

提案メカニズムが耐戦略性を満たすことを以下の 3 つの補題により、証明する。

補題 1. 配分に参加するエージェントが再び選択される場合、選べる空き住宅は変わらない。

補題 1 の証明は紙幅の都合上省略する。

補題 2. 各エージェントは自分の選好を正直に申告することが最良の選択肢である。

証明の概略. エージェントが親の住宅、自身の住宅、または空き住宅を最も好む場合、真の選好を申告することで、最も好ましい住宅が割り当てられる。虚偽申告を行っても真の選好を申告する場合より好ましい住宅に割り当てられることがない。子供の住宅を最も好む場合、補題 1 により、

割り当てられないを割り当てることができない。したがって、嘘の選考を申告するインセンティブがない。 □

補題 3. 各エージェントは自身の子供に情報を伝達することが最良の選択肢である。

証明の概略. ある子供に情報を伝達すると伝達しない 2 つの場合を比較する。情報を伝達しない場合、割り当てられる任意の住宅に対して、同じ内容を申告することにより、情報を伝達する場合においても、その住宅を割り当てられる。したがって、情報を伝達しなくても得をしない。 □

また、以下の baseline メカニズムを考える。

Baseline メカニズム まず、すべての newcomer にランダムに住宅を割り当てる。すべての tenant は他の tenant の中の自分の親、自分、または自分のすべての子孫に所有し、マーケットに残っている住宅の中で最も好む住宅を指す。少なくとも 1 つの cycle ができ、 cycle の中のすべてのエージェントに好きな住宅を割り当て、 cycle におけるすべてのエージェントと割り当てられた住宅をマーケットから除く。残ったエージェントは再び最も好む住宅を指す。マーケットに残るエージェントが存在しない場合、配分を終了する。

定理 2. 提案メカニズムは空き住宅に対する非浪費性を満たす。

証明は紙幅の都合上省略する。baseline メカニズムは空き住宅に対する非浪費性を満たさないため、提案したメカニズムは空き住宅を効率よく利用できるといえる。

4. 結論

本研究は、ネットワーク上テナント付き交換モデルにおいて、耐戦略性および空き住宅に対する非浪費性を満足するメカニズムを提案した。また、他のメカニズムと比較することで、提案メカニズムが効率的であることを示した。今後の課題として、エージェントの優先順位の定め方について考察することが考えられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費基盤研究 (A) (課題番号 JP20H00587 および JP20H00609)、ならびに文部科学省ダイバーシティ研究環境実現イニシアティブ (先端型) の助成を受けました。深く感謝致します。

参考文献

- [1] L. Shapley & H. Scarf.: On cores and indivisibility, *Journal of Mathematical Economics* 1974, 1(1): 23–37, 1974.
- [2] B. Li, D. Hao, D. Zhao, & T. Zhou.: Mechanism Design in Social Networks, In *Proc. AAAI-17*: 586–592, 2017.
- [3] A. Abdulkadiroğlu & T. Sönmez.: House allocation with existing tenants, *J. Econ. Theory*, 88(2): 233–260, 1999.
- [4] T. Kawasaki, R. Wada, T. Todo, & M. Yokoo.: Mechanism Design for Housing Markets over Social Networks, In *Proc. the 20th Intl. Conf. Auton. Ag. & Multiag. Sys. (AAMAS-21)*, 692–700, 2021.