

分散安定マッチング問題とネットアプリケーションの検討

豊平 絵梨, 名嘉村 盛和
琉球大学 工学部 情報工学科

分散安定マッチングを応用し、マルチエージェントを用いたネットワークショッピングシステムを提案する。ネット上の商品(売り手)と買い手を安定マッチング問題における二つのグループとし、商品を買手のマッチングをネットワーク上で行う。商品を買手をエージェント化し、各エージェントが双方の情報を交換しながらマッチングを行うアプリケーションである。エージェント化により、買い手は必要な商品の検索および商品の比較を行う手間が軽減され、商品(売り手)は、最も購入確立の高い買い手を見極めることができるというメリットがある。さらに、分散的にマッチングを行うため、個人データやマッチング利用するプリファレンスリストは個々のサイトに保存しておけばよく、外部のサイト(サーバ)に登録する必要はない。また、マッチング過程における戦略も自由に設定できる。すなわち、提案アプリケーションは、分散安定マッチングを用いることにより、プライバシー、戦略といった秘密事項が保持される点で優れている。

A Distributed Stable Matching Problem and Its Net-based Application

Eri Toyohira, Morikazu Nakamura
Dept. of Information Eng., University of the Ryukyus

We propose a network-based shopping system using a multi-agent technology to solve the distributed stable matching problem. Vendors and buyers are regarded as two sets of agents in the distributed stable matching problem whereas the matching of goods to the various buyers is performed in a distributed system on a network. In this application, an agent (vendor) demands for his/her desired goods from the other agent (buyer). Through message passing and exchange of information matching of buyer is done with a respective vendor. The merit of this system is that a buyer can save time by reducing time spent on searching for goods and comparing goods' prices etc. Likewise, a vendor can locate a buyer with the highest purchase probability. In order to carry the matching process in the distributed system, it is not necessary to register personal data and preference list into an external site. Furthermore, The strategy in the matching process can also be set up freely. By using distributed stable matching, it excels in the fact that the privacy or strategy of the vendors and Buyers is kept.

1 はじめに

1960年代半ばに D.Gale と L.Shapley によって発表された安定結婚問題 [1] は、米国における医学部卒業生 (レジデント) と病院のマッチングに利用され、注目を集めた。本稿では、組合せ問題であることが容易に分かるよう、以後安定結婚問題を「安定マッチング問題」と呼ぶ。従来のこのマッチング問題に対する解答手法は集中的に計算するものであった。文献 [2] では、安定マッチングを拡張した分散安定マッチングが提案された。

一方、今後ますます発展することが予想されるネットベースビジネス、ネットベースアプリケーションでは、(1) 売り手と買い手、(2) 荷主の輸送リクエストと配送業者、(3) 仕事と労働者のようなマッチング問題へ適用できるものが多い。

本研究では、現在も利用者が多く、さらに拡大することが期待できるネットショッピングにおける、売り手と買い手とのマッチングに注目する。売り手と買い手の間でマッチングを行うことで、売り手・買い手双方の希望 (条件) に沿った取引ができ、より高い満足度が得られることが期待できる。

さらに、マルチエージェント技術を使用することで、アプリケーション内の種々の処理を円滑に行う。エージェントは、ユーザの代理を行う自律性をもつプログラムのことであり、応用範囲も広く、ネットオークションに用いた研究 [3]、資材リサイクルシステムの研究 [4] にも取り入れられている。

本稿では、ネット上に存在する「商品の販売を行っている業者・個人」と「ネットで商品を購入したい人 (ユーザ)」間での交渉を支援するネットアプリケーションを検討する。まず提案アプリケーションで用いる分散安定マッチングについて説明し、次に提案ネットアプリケーションについて説明する。ここで、アプリケーションを実装するために用いる、エージェント技術についても触れる。4 節では、中古車販売を例として、提案アプリケーションを具体化する。そして最後にまとめる。

2 分散安定マッチング問題

基本的な安定マッチング問題における問題設定を以下のように定義する。

- メンバー数 (n) が等しい、二つのグループが存在する。

$$m = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$$

$$w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

- 各メンバーは、異なるグループの全てのメンバーを好きな順に並べたリスト (プリファレンスリスト) を持つ。

以上の設定のもと、2 組のペア $(m_i, w_i), (m_j, w_j)$ において、次の状況がそれぞれ成り立つ時、2 組のペアは不安定であるという。

$$m_i \text{ は } w_i \text{ より } w_j \text{ を好む} \quad (1)$$

$$w_j \text{ は } m_j \text{ より } m_i \text{ を好む} \quad (2)$$

(1) は、 m_i のプリファレンスリストにおいて、 w_j はパートナー w_i より上位に位置することを示し、(2) は w_j のプリファレンスリストにおいて、 m_i はパートナー m_j より上位に位置することを示している。全メンバーのマッチングにおいて、任意の 2 組のペアが不安定でない時、そのマッチングを安定マッチングと呼ぶ。以上の基本的な安定マッチング問題に、

- 共有メモリが存在しない。
- 各メンバーは、メッセージ通信を用いてコミュニケーションを行う。
- 通信遅延が存在する。

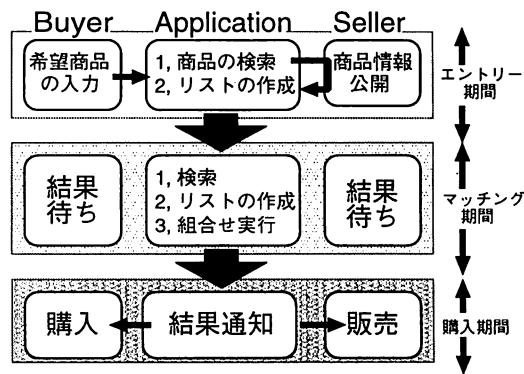


図 1: アプリケーションの流れ

の分散環境の条件を加えたものが分散安定マッチングである [2]. 文献 [2] では, Gale-Shapley 基本アルゴリズムに基づく分散安定マッチングアルゴリズムを提案している. このアルゴリズムにおいてマッチングゲームは, 1つのグループが一方のグループへ Request メッセージを送信することで始まる. この時, 最初のメッセージを送ったメンバーのいるグループ優先でマッチングが行われる. マッチング結果は, どちらのグループ優先で行われたかで変化するが, 同じグループのどのメンバーからマッチングを始めても同じである.

3 提案アプリケーションの概要

3.1 基本構成

本来, 電子商取引は迅速に行われ, また, 店頭に向くことなく時間をあまりかけずにより満足する商品を購入できる所が魅力である. しかし, 現在利用されているネットショッピングサイトでは, 商品の検索はそのサーバ内とサイトに登録されているショップのサイトで行われ, その商品を買うかどうかは買い手自ら判断する. 基本的には, それらのサイトに存在する商品しか対象としないため, 選択の幅も狭くなる. また, ネットショッピングサイトに登録していない店舗にとっては, 商品を売る機会が減ってしまうことになる. そこで我々は, 複数のサーバ上にある情報を検索・評価し, ユーザの希望する商品の決定までを行うネットアプリケーションを提案する.

今回, 提案アプリケーションには「エントリー期間以外でのキャンセルは行われぬ」という制約を設ける. エントリー期間終了後に Buyer がキャンセルすると, マッチングへの影響も考えられるため, エントリー期間終了後はキャンセルを受け付けないこととする.

提案アプリケーションは, 図 1 に示すような流れで処理を行い, 商品の購入・販売を行う. アプリケーションには大きくわけてエントリー期間, マッチング期間, 購入期間の 3つの期間があり, それぞれの期間で Buyer(買い手), Seller(売り手), そしてアプリケーションそれぞれの実行内容は以下ようになる.

- エントリー期間

- ▷ Buyer: 希望商品とその属性(条件等)を入力.
- ▷ Seller: 商品情報を公開.
- ▷ Application:
 1. Buyer が入力した商品の検索.
 2. 検索結果を元にして, 条件にマッチした順序でリストを作成.

- マッチング期間

- ▷ Buyer： 希望に応じた Seller が決定されるまで待機.
- ▷ Seller： 商品購入者が決定するまで待機.
- ▷ Application： Buyer とその条件に適した Seller のマッチング.

- 購入期間

- ▷ Buyer： マッチングの結果をみて, Seller と交渉後, 購入.
- ▷ Seller： マッチングの結果より, Buyer と交渉後, 販売.
- ▷ Application： Buyer, Seller にマッチングの結果を通知.

提案アプリケーションは, ネットワークを介して複数のユーザ (Buyer, Seller) が使用することを想定している. 全ての Buyer, Seller が同時にエントリーすることはないため, ある一定期間のエントリー期間を設け, その期間中にエントリーした Buyer と Seller を対象に組合せを行う.

エントリー期間では, まず最初に各 Seller のエントリーを行う. Seller は, 商品を Buyer 側へ公開することで, エントリーを終了する. Seller が出揃うと Buyer のエントリー期間となる. この期間では, 各 Buyer が欲しい商品とその属性, 条件を入力, 検索し, 検索結果がよければ Seller との交渉権を得るためにエントリーする.

次のマッチング期間では, Seller の商品に対して購入を希望している Buyer を検索し, 検索された Buyer と Seller の組合せを行う. 組合せが終了すると購入期間となり, Buyer と Seller に結果を通知する. その通知によって, Buyer は Seller との交渉権を得ることになり, 交渉後, 商品を購入する.

Buyer は, 入力時に購入希望商品の属性 (条件) に優先順位をつけ, 検索時は優先度の高い項目から検索する. そうすることで, より Buyer の希望にあった商品が検索される. もし, 対象商品がなかった場合はその旨を提示し, 新しい条件等を再入力, 再検索する.

Seller の在庫管理は, 各 Seller にまかせることとする. マッチング後交渉権を得た Buyer からの交渉依頼が来た時, もし, 在庫がなかった場合には, それぞれの Seller に対応することとする. 実際のネットショッピングでも在庫管理は Seller が全て行っているため, アプリケーションで管理することはないと考える.

Buyer は, 商品とその属性を入力し結果を待つ. その他の処理は全てアプリケーション内で行われる. Seller も同様にアプリケーションが買い手を探し出すということになる. アプリケーション内では, 商品の検索, 組合せに用いるリストの作成, Buyer と Seller の組合せ処理が行われる. これらはエージェント技術を用いて実現し, Buyer と Seller の組合せは, 2 節で述べた分散安定マッチングを用いて行う.

3.2 分散安定マッチングの導入

分散安定マッチングにおけるグループは, ネットショッピングにおいては Buyer と Seller であり, 各グループのメンバーは販売店と購入希望者となる.

ネットショッピングに分散安定マッチングを導入するには, まず, 個々のメンバーのプリファレンスリストを作成しなければならない. エントリーし, 希望商品の検索を行った後, アプリケーション内でプリファレンスリストを作成する. 以下に, プリファレンスリスト作成手順を述べる.

- Buyer

1. 商品の条件とその優先順位を設定する.
2. 1 で提示した条件に合った商品の検索する.
 - ◇ 優先順位の高い条件に沿った商品を検索する.

3. 検索結果のうち上位数個がプリファレンスリストとなる。

- Seller

プリファレンスリストを作成しない。

Buyer は、希望商品とその希望属性 (価格等を含む商品要素) に優先順位をつけることで、プリファレンスリスト作成の手がかりとしている。商品を検索し、その中から商品を数個選び出す際には、できるだけ上位の条件にマッチした商品を選択することで、Buyer の満足度を高めることができる。商品の検索が終了すると、その選択された商品の上位数個でもってプリファレンスリストを作成する。

以上のように作成したプリファレンスリストを用い、Seller と Buyer のマッチングを行う。Seller は、マッチングする事前にプリファレンスリストを持つ必要はなく、Seller の商品を希望している Buyer からの Request メッセージが送られて来た時に判断する。例えば、今ペアになっている Buyer よりも提示価格と希望価格の差が小さい希望価格を提示している Buyer を優先して選ぶというように、Buyer を選択する。

マッチングを行う際、各グループのメンバー数は同数でないことも考えられるが、そのような場合でも最適なマッチングを行うことができる。マッチングは、Buyer 優先で行うことで、Buyer の満足度を高めることができる。また、Buyer が少なく Seller が余った場合は、Seller の条件にマッチした Buyer が存在しなかっただけであり、反対に、Seller が少なく Buyer が余ってしまった場合は、Buyer より Seller の条件にマッチした他の Buyer がいて、余った Buyer の条件に合った Seller がいなかっただけである。そのため、どのメンバーが余ったとしても他のメンバーへの影響はない。

3.3 エージェント技術

複数のサイトに存在する膨大な情報の中から、要求商品を検索し評価するにはかなりの労力がかかる。そこで、マルチエージェント技術を用いることで、複数のサーバ間、サーバとユーザ間、ユーザ間のやりとりを円滑にし、また個々のユーザ (Seller, Buyer) の要望に対して柔軟な対応を実現することにした。

エージェントとは、ユーザの代理として動作するプログラムのことである [5]。エージェントには、知的エージェント、移動エージェント、マルチエージェントがあるが、ここでは、複数のエージェントと競合、協調しながら問題解決にあたることのできるマルチエージェントを採用する。マルチエージェントには、問題解決の方法によって、協調型と均衡型がある。今回は、その特性から均衡型マルチエージェントを採用する。均衡型マルチエージェントの問題解決方法は、以下のように行われる。

- 均衡型マルチエージェント

各エージェントそれぞれの観点からタスクを処理するシステムである。処理が終わると、結果を持ちよって全体として均衡した解を求めるものである。

今回は、分散環境下での Seller と Buyer のマッチングを行うため、タスクを総括するために用いられる、親エージェントは必要なく、個々のエージェント同士が直接メッセージを送り交渉する。

アプリケーションの概要に基づき、それぞれ以下のエージェントを定義する。

1. Buyer エージェント

- ◇ Buyer に代わって交渉するエージェントである。
- ◇ Seller への公開情報を保持する。
- ◇ Seller のサーバ上にある情報から、Buyer が提示している条件に合う商品を検索する。
- ◇ 検索結果より、リストを作成する。
- ◇ Seller エージェントにメッセージを送信しマッチングを行う。(Seller エージェントに Request メッセージを送信する。)

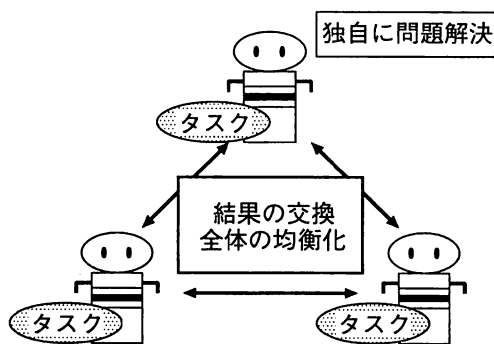


図 2: 均衡型エージェントのイメージ

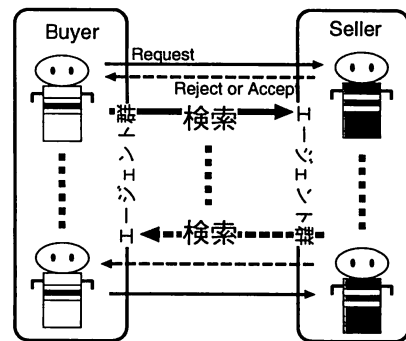


図 3: エージェントの動作

- ◇ マッチング結果をユーザに知らせ、ユーザの決定を Seller エージェントに知らせる。

2. Seller エージェント

- ◇ Seller に代わって交渉するエージェントである。
- ◇ Buyer への公開情報を保持する。
- ◇ Buyer エージェントからメッセージを受信し、状況に応じた Reject または Accept メッセージを Buyer に送信する。
- ◇ Buyer の決定をユーザ (販売業者) に提示する。

以上のエージェントのネットワーク上での動作を図 3 に示す。各エージェントは異なるグループのエージェントに情報を公開する。検索は、他方のエージェント群に対して行い、メッセージの送信は、エージェントが保持しているプリファレンスリストの上位のメンバーに対して行う。また、Seller 同士、または Buyer 同士はいわば競合者であるが、お互いに情報交換する必要はないため、情報交換は異なったエージェント間で行われる。さらに、Buyer がキャンセルを行ってもエントリー期間内であれば Seller 側に何の影響も与えないため、キャンセル通知を行うことはない。

4 中古車購入問題への適用

本稿では、中古車を購入する際のマッチング問題を「中古車購入問題」とし、アプリケーションを用いて、マッチングを行う。

4.1 中古車購入問題の設定

自動車には、価格、メーカ、車種、年式、色など属性が多く選択肢の幅が広いことから、買い手によってそれぞれ条件も異なり、またその優先度も様々である。このようなことから、自動車購入に提案アプリケーションを導入することで効率良く購入できるものと考えた。

自動車を購入するまでには、

1. 欲しい自動車の条件を決める。
2. 各販売店等をまわり、条件に合う自動車を探す。
3. 購入自動車を決定する。

4. 自動車を購入する.

の過程がある. 提案アプリケーションでは, 上でいう 2 と 3 を自動化しようということである. 提案アプリケーションでは, 中古車を購入するまでには,

1. 希望する車の条件 (価格, メーカー, 色等) を入力し, 優先順位を決定する.
2. 条件に合った中古車を検索する.
もし, 検索されなかった場合は 1 に戻り新たに入力する.
3. 条件に合った中古車が見つかった時点で, エントリーしたこととする.
4. 販売店 (ディーラー) の決定を待つ. (エントリー期間終了まで)
5. 販売店決定の通知があると, 購入するかどうかの意志表示をし, 契約をする.

の工程があり, 最後に購入するかどうかの意志表示をして, 購入決定となる. もし, マッチング結果の中古車を購入しない場合は, 再びエントリーし直すことも可能である. その場合も, エントリーから決定までの工程は同様に行われる. Seller 側は各車のメーカー・車種・年式・色・走行距離等の情報を Buyer に提供する. そして Buyer は, その情報を元に購入車を決定する. 今回, マッチングは買い手優先で行うものとし, Seller は情報を提供するのみとする.

エントリー後, 各 Buyer エージェントは以下の動作をする.

1. プリファレンスリストの作成.
2. エントリー期間終了後に, マッチングを開始.
3. マッチングが終了すると, ユーザに結果を提示.
4. 交渉する販売店が決定すれば, Seller エージェントに通知.
5. 決定した車が気に入らない場合, 再びエントリーするかの確認.

以上の動作を行い, Buyer の代わりに販売者を見つけ, 交渉 (ここではマッチング) する. また, 各 Seller エージェントは, 以下の動作をする.

1. マッチングを開始. Buyer エージェントの交渉を待つ.
2. マッチング終了後, Buyer エージェントの購入決定の通知を受け, ユーザに通知.

Seller がエントリー期間終了後にプリファレンスリストを作成するため, Buyer はキャンセルしても Seller 側に通知する必要はない. Buyer エージェント, Seller エージェントともに, 契約が成立しユーザに通知した時点で作業を終了する.

4.2 具体例

ある Buyer が自動車を購入するまでの過程を説明する. 各グループとそのエージェントを以下のように定義する.

グループ

$$\text{Buyer} = \{b_0, b_1, \dots, b_m\}$$

$$\text{Seller} = \{s_0, s_1, \dots, s_n\}$$

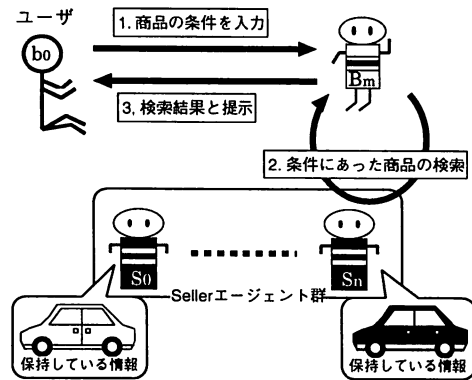


図 4: エントリー期間

エージェント

$$Buyer_{Agent} = \{B_0, B_1, \dots, B_m\}$$

$$Seller_{Agent} = \{S_0, S_1, \dots, S_n\}$$

プリファレンスリスト

$$b_i < \dots, s_x, \dots, s_y, \dots >$$

b_i, s_j のプリファレンスリストを上記のように表す。リスト内で左に位置する *Seller* が上位であることを表し、これは、「 b_i は s_y より s_x を好む」ことを意味する。

4.2.1 エントリー期間

エントリー期間における具体的な動作を説明する。

この期間の最初に、Seller によって販売自動車の登録が行われる。登録された自動車を対象に Buyer は検索を行う。Seller のエントリー期間が終了すると、Buyer のエントリー期間となる。

• Buyer

1. 図 4 に示すように、 b_0 はまず、購入したい自動車の条件の入力する。次に、 b_0 の購入条件の優先順位が (1) 車種、(2) 年式、(3) 色、(4) 価格、(5) 自宅から販売店までの距離だったとすと、そのように順位をつける。

B_0 : 入力された情報より、登録済の Seller エージェント群に対して優先順位の高い条件にあてはまるものから検索する。検索後、 b_0 に提示する。

2. 次に検索結果より、条件に合う自動車が見つかったので、 b_0 はそのままエントリーする。

B_0 : エントリーすることが決定したら、検索結果の上位数個を選択し、プリファレンスリストを作成する。

以上の結果、 b_0 のプリファレンスリストは $b_0 < s_4, s_0, s_1, s_3 >$ となった。

• Seller

Buyer 側へ、提示する販売自動車の情報を入力。

S_0 : Buyer へ情報を提示。

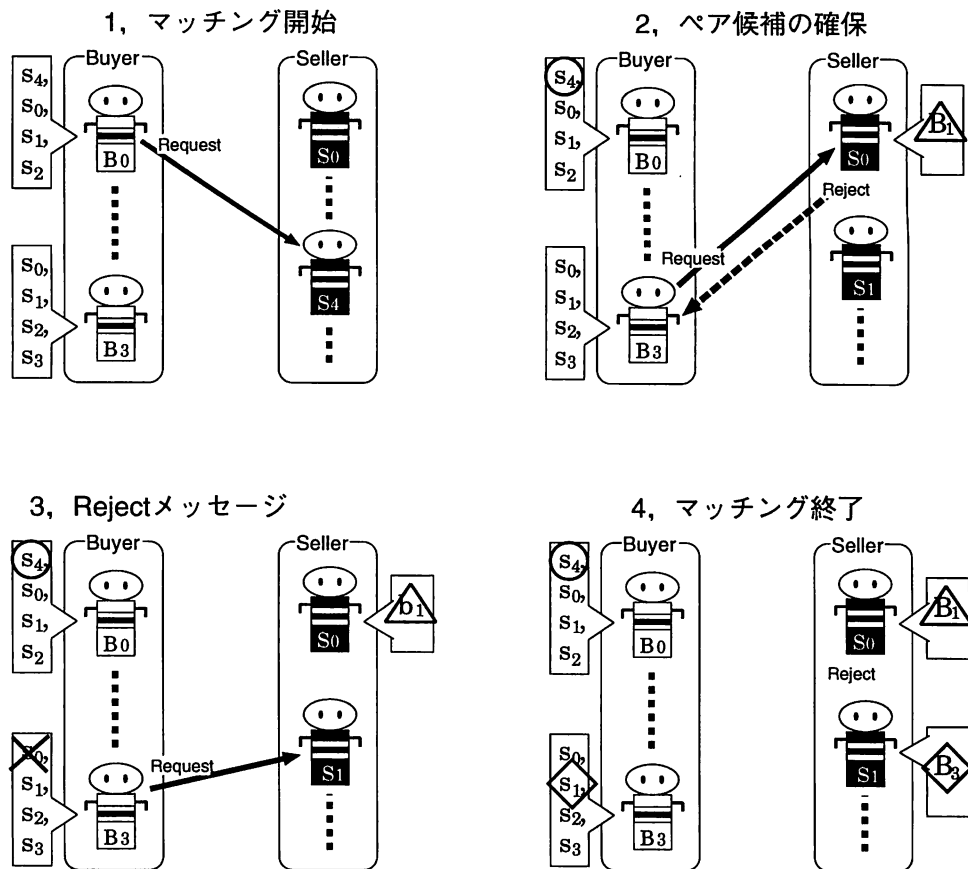


図 5: マッチング期間の流れ

4.2.2 マッチング期間

マッチング期間における具体的な動作を説明する。この期間では、実際に Buyer と Seller のマッチングを行う。

- Buyer

結果が通知されるまで待機する。

B_0 : Seller の検索、プリファレンスリスト作成が終了するまでマッチングは行われなため、 B_0 はプリファレンスリストが作成されるまで待機する。作成されたプリファレンスリストは $B_0 < S_4, S_0, S_1, S_2 >$ となった。

- Seller 結果が通知されるまで待機する。

S_0 : マッチングを行うために、Buyer 側からのメッセージを待つ。メッセージが来た場合、ペアとなる Buyer がいなければペア候補として確保し、ペア候補を確保していたら、確保している Buyer とメッセージを送ってきた Buyer の希望価格とを比較し、どちらかを選択する。

マッチングの結果、 s_0 は b_1 と交渉をすることになった。

マッチングに関して説明する。上の例では Buyer のプリファレンスリストが $B_0 < S_4, S_0, S_1, S_3 >$ となっていた。これは、 b_0 の競合者が b_1, b_3 であることを表している。Buyer の全メンバーとそのプリファレンスリストは以下のようになった。

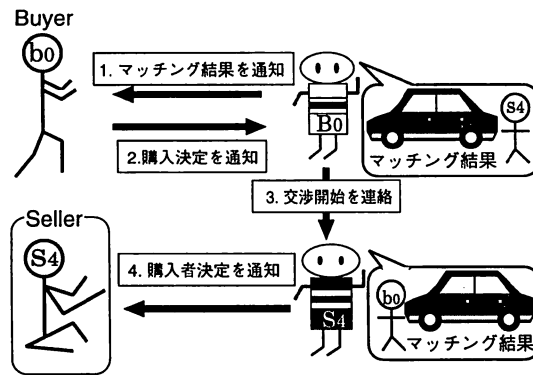


図 6: 購入期間

$$\begin{aligned}
 B_0 &< s_4, s_0, s_1, s_2 > \\
 B_1 &< s_0, s_2, s_3 > \\
 B_2 &< s_5, s_4, s_0, s_1, s_2, s_3 > \\
 B_3 &< s_0, s_1, s_2, s_3 >
 \end{aligned}$$

自動車購入には、属性が多く人それぞれの優先順位が異なる。例えば、2人のBuyerがいる時、一方はメーカーと車種で選び、もう一方はメーカー等に関わらず価格とタイプで選んだ場合においても、同一の自動車に対して購入を希望することも可能である。そのため、上のように各Buyerによってプリファレンスリストに載っているSellerの数が異なったり、マッチングを行うBuyerとSellerの数が異なる。

上のプリファレンスリストを用いて、マッチングが行われる。マッチングの具体的な動きを図5に示す。図5において、 B_0 からRequestメッセージを送ることからマッチングが開始される。受信した S_4 は、ペア候補となるBuyerがいないので、 B_0 を候補として確保する。それを各Buyerが順に行う。図5の右上と、左下はマッチングの途中経過を示している。例えば、 B_3 が S_0 にRequestメッセージを送った時、 S_0 のペア候補として B_1 がいる。この時、ペア候補となっているBuyer B_1 と、メッセージを送信した B_3 の提示条件を比較し、 B_1 の条件の方が良ければ B_3 にRejectメッセージが送信される。Rejectメッセージを受け取った B_3 は、プリファレンスリスト順にペアが決定するまでRequestメッセージを送る。マッチングの結果、 (b_0, s_4) , (b_1, s_0) , (b_2, s_5) , (b_3, s_1) がペアとなり、それれで交渉を交わし、購入することになる。また、 s_2 と s_3 はペアになれなかったことから、今回のマッチングでは購入者がいないということになる。

4.2.3 購入期間

購入期間における具体的な動作を図6に示す。ここでは、 b_0 が交渉権を得た S_4 を具体例として挙げる。

- Buyer

b_0 は販売店が決定したとの通知がある。結果を検討し、その販売業者との交渉権を得る。

B_0 : マッチング結果を b_0 に通知する。 b_0 は s_4 とマッチングした。 b_0 がマッチングされた販売業者で購入することを決定したので、それを s_4 に通知する。

- Seller

b_0 が購入することになれば交渉し、自動車売る契約を交わす。

S_4 : 購入希望との通知が B_0 からあれば、 s_4 に通知し、終了する。

各エージェントは、Buyer, Seller どちらとも交渉決定と同時にその動作を終了する。

5 まとめ・今後の課題

今回は、まず、文献 [2] で提案された分散安定マッチングの説明を行い、その理論を用いたネットアプリケーションの提案した。そして、それを中古車販売を例に挙げ、詳しく説明した。

今後、まずはローカルなネットワークで実験環境を構築し、提案アプリケーションをより広範囲で活用できるように評価、検討、拡張を行う。

参考文献

- [1] D. Gale and L.S.Shapley, "College Admissions and the Stability of Marriage," American Mathematical Monthly, Vol. 69, pp.9-15, 1962.
- [2] M.Nakamura,H.Kinjo,K.Onaga, "Distributed Stable Marriage Problem," Proc. IEICE Circuit and Systems Karuizawa Workshop, Invited Paper, pp. 457-462, 1997.
- [3] 伊藤孝行, 福田直樹, 新谷虎松, "マルチエージェント入札支援システム *BiddingBot* におけるエージェント間の協調的入札機構について," 第8回マルチエージェントと協調計算国際ワークショップ (MACC99), 1999.
- [4] M.Akiyochi, K.Abe, Y.Ono, "Agent-based Decision Support Framework for Asynchronous Negotiation of Resource Transfer," IEEE Systems, Man and Cybernetics, pp.714-719, 1999.
- [5] 服部文夫, 坂間保雄, 森原一郎, "エージェント通信," オーム社, 1998