



伊藤 孝行 (正会員)

2000年名古屋工業大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。1999年から2001年にかけて日本学術振興会特別研究員(DC2およびPD)。2000年から2001年にかけて南カリフォルニア大学 Information Sciences Institute (USC/ISI) 客員研究員。2001年北陸先端科学技術大学院大学知識科学教育研究センター助教授。2003年より名古屋工業大学大学院情報工学専攻助教授。2005年から2006年にかけて米国ハーバード大学 Division of Engineering and Applied Science 客員研究員および、米国マサチューセッツ工科大学 Sloan School of Management 客員研究員。2006年より名古屋工業大学大学院産業戦略工学専攻准教授。2008年より米国マサチューセッツ工科大学 Sloan School of Management 客員研究員。2009年より科学技術振興機構(JST) さきがけ大挑戦型研究員。2010年より東京大学政策ビジョン研究センター客員研究員。現在に至る。2007年文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞。情報処理学会長尾真記念特別賞受賞。2006年 International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS2006) 最優秀論文賞受賞。2005年日本ソフトウェア科学会論文賞受賞。平成16年度IPA未踏ソフトウェア創造事業スーパークリエイター認定。第66回情報処理学会全国大会優秀賞および奨励賞受賞。マルチエージェントシステム、計算論的メカニズムデザイン、オークション理論、電子商取引支援、大学発ソフトウェアベンチャーに興味を持つ。ACM 上級会員、AAAI、電子情報通信学会、日本ソフトウェア科学会、計測制御自動学会、日本経済学会各会員。



マーク クライン

1989年イリノイ大学においてPhD取得。現在、マサチューセッツ工科大学スローン経営大学院集合知研究センター常任研究員、人工知能研究所(CSAIL)およびニューイングランド複雑システム工学研究所(NECSI)所属。マルチエージェントシステム、複数論点交渉問題、協調的デザイン支援システム、ビジネスデザインの再設計、分散システムにおける緊急機能障害に関する研究を行っている。また、集合知を利用した地球温暖化に対する議論支援システムの開発にも従事している。AAAI, ACM, IEEE各会員。

複数論点交渉問題における論点グループに基づくスケーラブルな合意形成手法の提案

Scalable and Efficient Protocols by Grouping Issues in Multiple Interdependent-Issue Negotiations

藤田 桂英

Katsuhide Fujita

名古屋工業大学大学院情報工学専攻*1

Department of Computer Science and Engineering, Nagoya Institute of Technology*2
fujita@itolab.mta.nitech.ac.jp

伊藤 孝行

Takayuki Ito

名古屋工業大学大学院, 産業戦略工学専攻, 情報工学科*3

School of Techno-Business Administration/Department of Computer Science, Nagoya Institute of Technology*4
ito.takayuki@nitech.ac.jp

Mark Klein

マサチューセッツ工科大学スローン経営大学院

Center for Collective Intelligence MIT Sloan School of Management
m.klein@mit.edu

keywords: Multi-issue negotiation, Interdependent issues, Non-linear utility function

Summary

Most real-world negotiation involves multiple interdependent issues, which create agent utility functions that are nonlinear. Our research focuses on developing algorithms that enable this kind of negotiation. We present a novel bidding-based negotiation protocol that addresses the excessively high failure rates that existing approaches face when applied to highly complex nonlinear utility functions. This protocol works by using issue dependency information as follows. First, agents generate an interdependency graph by analyzing the agent's constraints. Second, a mediator identifies issue-groups based on the agents' interdependency graphs. Third, agents generate bids that are divided into these issue-groups. Finally, the mediator identifies the winning contract by finding the best combinations of bids in each issue-group. In this paper, we demonstrate that our proposed protocol is highly scalable when compared to previous efforts in a more realistic experimental setting.

1. はじめに

マルチエージェントの研究分野において複数論点交渉問題が重要な研究課題となってきた。特に、電子商取引などの分野において、自動交渉の枠組みやメカニズムを開発することで、人の代理として働くソフトウェアエージェントが交渉を行い、電子商取引の自動化が促進される。しかし、エージェント同士の交渉において現実的な効用モデル提案、プライバシーの公開に対する危険性、合意を求める際の計算量爆発など現実の人間同士の交渉とは異なる問題が多数存在する。

マルチエージェントにおける複数論点交渉問題に関して多数の既存研究が存在している ([Faratin 02] etc.)。し

かし、既存の研究では論点の独立性が仮定されており、線形の効用関数に限定されている。実世界の問題では複数の論点が全て独立していることは稀であり、複数の論点が相互依存関係にある場合が多い。本論文では各論点が相互依存関係にある複雑な交渉問題を対象とする。各論点が相互依存関係にある場合、各エージェントの効用関数は非線形の効用関数で表現される。また、各論点に独立性が仮定された交渉問題において社会的効用最大な合意案を発見できる手法でも、各論点が相互依存関係にある場合には必ずしも社会的効用最大な合意案を発見できないことが示されている [Klein 03]。

各論点が相互依存関係の場合に対応可能な手法として入札に基づく交渉手法が提案されている [Ito 07, 服部 06]。入札に基づく交渉手法はエージェントの選好情報を過剰に開示することなく、個々のエージェントが個人効用の最適化を試み、かつ社会的にも効用の高い合意を得ることが可能である。しかし、エージェント数や論点数に関するスケーラビリティが低く、計算量を減らすことが重要な課題

*1 マサチューセッツ工科大学スローン経営大学院

*2 Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology (MIT)

*3 東京大学政策ビジョン研究センター/ 日本科学技術振興事業団 (JST) さきがけ研究員

*4 Todai Policy Alternatives Research Institute/ PREST, Japan Science and Technology Agency (JST)

の一つとなっている [服部 07, Marsa-Maestre 09b, Fujita 08].

本論文では、各論点の相互依存度に基づき論点グループを決定し、論点グループごとに合意形成を行なう手法を提案する。論点グループに基づく交渉手法では、まず、エージェントはすべての制約情報を調査し、正確な相互依存関係グラフを生成する。次に、メディエータはエージェントの相互依存関係グラフに基づいて存在する相互依存度が最大になるように、論点グループを決定する。その後、エージェントはグループごとに入札を生成し、それぞれの入札に評価値を設定する。本論文ではグループごとの論点がとりうる最大の値を評価値として設定する。さいごに、メディエータは入札情報をもとに組み合わせ最適解を求め、最終的にグループごとに生成された合意案を統合して最終合意案を求める。

本論文で提案する論点グループに基づく交渉手法は既存の手法と比較して高いスケーラビリティがある。また、最適率を最適解と各手法で得られる解の効用値の差と定義した場合、合意案に対して高い最適率を保つことが可能である。本論文ではシミュレーション実験を用いて既存の手法と合意案の最適率とスケーラビリティを比較する。論点グループに基づく交渉手法は論点間の相互依存度と論点間の相互依存関係の存在が指数分布になる場合に、より適切な合意案を発見することが可能である。

本論文の構成を以下に示す。まず、2章では本論文で扱う交渉問題の定式化と各エージェントがもつ非線形の効用空間について述べる。3章では交渉における論点間の相互依存関係と依存関係抽出機構に関して述べる。4章では論点グループに関する交渉プロトコルを提案する。5章において評価実験の結果を示す。最後に、6章において関連研究について示し、7章に本論文のまとめを示す。

2. 論点に依存関係が存在する交渉問題

本論文では、 N 個のエージェントが合意形成を試みる交渉の状況を考える。個々の論点を $i_j \in I$ と表し、論点が $|I|$ 個存在する。論点 i_j は $[0, X]$ の範囲の整数を値として持つ ($1 \leq j \leq |I|$)。交渉の結果得られる合意案は、各論点の値のベクトル $\vec{s} = (s_1, \dots, s_{|I|})$ と表現される。

エージェントの効用関数は制約を用いて表現する。個々の制約は $c_k \in C$ と表し、 $|C|$ 個の制約が存在する ($1 \leq k \leq |C|$)。制約は、単一、もしくは複数の次元 (論点) に関して、制約充足条件となる値の範囲、および効用値を持つ。 $\delta(c_k, i_j)$ は制約 c_k が論点 i_j に関して制約充足条件となる値の集合 (範囲) である。制約充足条件が存在しない場合は \emptyset となる。エージェントは制約 c_k に対して、合意 \vec{s} によって充足される場合のみ、 $w_i(c_k, \vec{s})$ を効用値として持つことができる。交渉に参加する全てのエージェントは、全く共有されていない独自の制約集合を持つ。

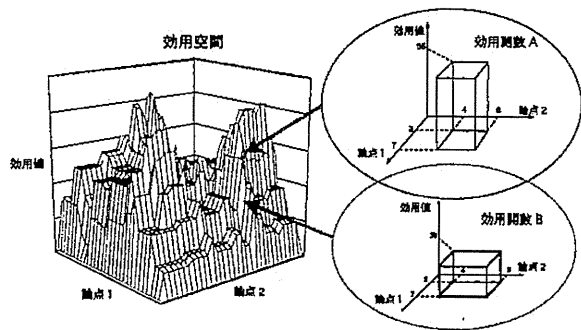


図 1 効用関数と効用空間の例

合意 \vec{s} に関するエージェント n の効用を $u_n(\vec{s}) = \sum_{c_k \in C, \vec{s} \in x(c_k)} w_i(c_k, \vec{s})$ と定義する。 $x(c_k)$ は、制約 c_k を充足可能な合意案の集合である。この効用表現により、凹凸のある非線形の効用空間が形成される。本論文における効用空間とは、各論点を取り得る値のあらゆる組合せについて、効用関数によって得られる効用値を空間状にプロットして得られるグラフを意味し、空間の次元数は、論点数+1となる。この効用空間では、多くの制約を充足可能な地点は効用が高くなり、逆に充足する制約数が少ない地点では、効用が低くなる。これにより、空間内に効用値による高低が生じる。

図 1 に、非線形の効用関数と効用空間の例を示す。図の効用関数 A と効用関数 B は、論点 1、および論点 2 に関連する二項制約の例を図示したものである。効用関数 A では、論点 1 に関しては $[3, 7]$ 、論点 2 に関しては $[4, 6]$ の範囲で合意が得られた場合に制約が充足可能であり、その場合得られる効用は 55 であることを示している。図が示す通り、効用空間は各論点の取りうる値の全組み合わせを網羅した状態空間に、各エージェントが持つ全効用関数をプロットして得られるグラフである。現実世界の問題における非線形の効用空間は図が示す以上に山と谷が入り組んだ複雑な効用空間を想定している。

各論点相互依存関係がない場合、線形の関数として表現可能であるが、各論点相互依存関係の場合、非線形の関数として表現される。各論点独立した場合しか考えてない既存プロトコルは、単純な線形計画問題となるため社会的効用最大な合意案を得やすい。一方、効用空間に不規則な凹凸が存在する非線形の効用関数では線形計画問題とならないため、既存のプロトコルを適用して社会的効用最大な合意案を得るのは困難である。また、各論点独立している交渉問題では、個々の論点に関する単一最適化を行い社会的効用を求めれば社会的効用最大な合意案を得られるが、各論点相互依存の交渉問題では多目的最適化を行う必要がある。したがって、各論点独立している場合に有効な既存の手法を適用して社会的効用最大な合意案を得ることが困難である。

本論文で提案する交渉プロトコルの目的関数は、以下

ID	論点 1	論点 2	論点 3	論点 4	効用
1	[2, 4]	∅	[4, 6]	∅	20
2	∅	5	[3, 7]	[1, 6]	40
3	[3, 8]	∅	∅	∅	25
4	4	[2, 7]	9	[4, 5]	50

表 1 エージェントがもつ制約情報

のように表現できる。Ag はエージェントの集合を表し、|Ag| = N である。

$$\operatorname{argmax}_{\bar{s}} \sum_{n \in Ag} u_n(\bar{s})$$

言い換えると、提案プロトコルは社会的効用、すなわち全てのエージェントの効用の総和を最大化する合意の発見を試みる。

本論文では全エージェントがすべての効用情報を公開して、非線形最適化手法を利用する手法を採用しない。なぜならば、交渉の場での効用に関する情報の公開は、実世界のユーザにとって好ましくないからである。具体的な例として、車など商品の売買に対する交渉が挙げられる。売買交渉のようにプレイヤー間で、得られる合意案に関する効用が相反する場合、売り手の最低販売価格が明かされると、買い手は当然その価格での購入を望む。逆に、買い手の最高購入価格が明かされると、売り手はその価格での売却を希望する。以上のように交渉において他のエージェントに自身の効用情報が漏洩することは、他のエージェントの効用を減少させてでも自分の効用を増加させるような利己的な戦略がとれるようになり、結果としてプライバシー情報が公開されたエージェントの得られる効用が減少する可能性がある。

3. 交渉における論点の相互依存関係

3.1 論点の相互依存関係

本論文では、もし、論点 X と論点 Y に関する制約が存在するならば、論点 X と論点 Y は相互依存関係であると考えられる。例えば、あるエージェントが表 1 のような制約情報を保持する場合を考える。表 1 の制約 1 では、論点 1 が 2 ~ 4、論点 3 が 4 ~ 6 の範囲内に存在する場合に効用値 20 を得る。エージェントは制約 1 を持っているため、論点 1 と論点 3 に関する二項制約を持っている。以上の場合、エージェントにとって論点 1 と論点 3 は相互依存関係となる。

次に、エージェントがもつ論点の相互依存関係の強さを示す指標として相互依存度 (interdependency rate) を定義する。本論文では論点 X と論点 Y に関する相互依存度をエージェントがもつ論点 X と論点 Y に関する制約数と考える。以下に、エージェント n の論点 j と論点 jj の相互依存度 (Dn(ij, ijj)) を示す。

$$D_n(i_j, i_{jj}) = \#\{c_k | \delta(c_k, i_j) \neq \emptyset \wedge \delta(c_k, i_{jj}) \neq \emptyset\}$$

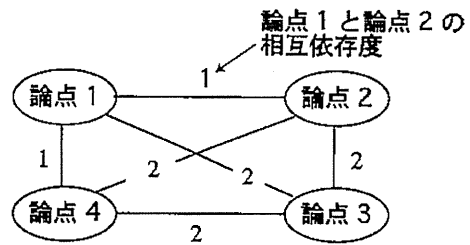


図 2 相互依存関係グラフ

エージェントがある論点同士に対して、多数の相互依存関係にある制約つまり効用関数をもつとき相互依存度が強くなり、逆にある論点間に対して少数の相互依存関係にある制約をもつとき相互依存度が弱くなる。例えば、表 1 において制約 2 と制約 4 が論点 3 と論点 4 に対して相互依存関係なので論点 3 と論点 4 の相互依存度は 2 となる。

また、エージェントは論点間の相互依存関係を相互依存関係グラフ (interdependency graph) により保持している。以下に相互依存関係グラフの定義を示す。

$$G(P, E, w) : P = \{1, 2, \dots, |I|\} (\text{有限集合}), \\ E \subset \{\{x, y\} | x, y \in P\}, w : E \rightarrow R$$

相互依存関係グラフはノードを各論点、エッジを相互依存関係の有無、重みを相互依存関係度とした、重み付き無向グラフである。図 2 は相互依存関係グラフの例を示している。図 2 が示すように、頂点が各論点、エッジが相互依存関係の有無、各エッジの重みは相互依存度を示している。また、エッジの有無で依存関係が存在するかを判断する。相互依存関係グラフを用いることで、エージェントは各論点間の相互依存関係を容易に管理することができる。

3.2 エージェントによる相互依存関係の抽出

エージェントが相互依存関係グラフを作成するために、各論点の相互依存関係抽出機構が必要である。本論文では、エージェントがもつすべての制約を調査し、各論点の相互依存関係を調査する手法を採用する。本手法を用いた場合、すべての依存関係が調査できるため誤りがない相互依存関係グラフを作成できる。また、計算時間は制約数に対して線形時間となる。Algorithm1 にアルゴリズムの詳細を示す。

4. 論点間の依存関係に基づく合意形成モデル

本章では、相互依存関係グラフに基づいて論点グループごとと交渉論点を分割し、入札に基づく交渉手法 [Ito 07] を基に合意形成を行なう手法を提案する。本手法は分割しない場合と比較して、高いスケーラビリティが期待できる。以下に論点グループに基づく交渉手法の詳細を示す。

Algorithm 1 get_Dependency(*C*)

```

C: a set of constraint
1: for c ∈ C do
2:   for i := 0 to Number of issues do
3:     for j := i + 1 to Number of issues do
4:       if Issue i and Issue j are interdependent in c
5:         then
6:           interdependencyGraph[i][j]++
7:         end if
8:       end for
9:     end for

```

[Step1: 相互依存関係の抽出]

エージェントは自身の効用情報を探索し、相互依存関係グラフを作成する。各論点間の相互依存関係の有無や相互依存関係度の抽出は 3.2 節に示したように、エージェントがもつすべての制約を調査し、正確な相互依存関係グラフを作成する。その後、エージェントはメディアータに相互依存関係グラフを公開する。

[Step2: 論点グループの決定]

本ステップではメディアータがエージェントからの相互依存関係グラフから、論点間における相互依存関係の損失が少ない最適な論点グループを決定する。本手法では、論点グループ数はあらかじめ決められているものとする。まず、メディアータは社会的相互依存関係グラフを作成する。社会的相互依存関係グラフとはノードを各論点、エッジを相互依存関係の有無とした無向重み付きグラフである。また、社会的相互依存関係グラフにおける i_j と i_{jj} 間のエッジの重みは以下の式で定義する: $\sum_{n \in N} D_n(i_j, i_{jj})$ ($D_n(i_j, i_{jj})$ エージェント n における論点 i_j と論点 i_{jj} 間の相互依存度)。

論点グループ数は少ないほど、最終的に見つかる合意案の最適率が高いが 1 グループが考慮する論点数が増えるため、交渉問題に対するスケーラビリティが増加する。一方、論点グループ数が多いほど、最終的に見つかる最適率が下がるが、1 グループが考慮する論点数が減るため、交渉問題に対するスケーラビリティが減少する。

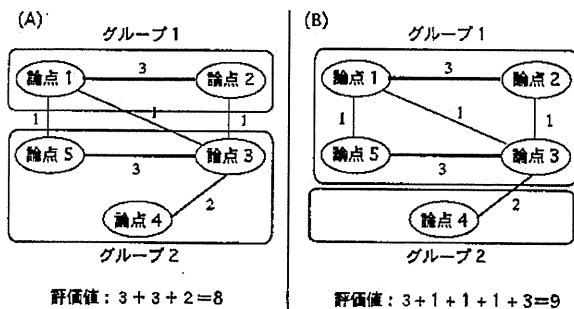


図3 グループ分割における評価値

次に、社会的相互依存関係グラフを用いて、交渉問題を論点グループを決定する。本論文では、グループ数をあらかじめ決めておき、シミュレーテッドアニーリング (SA)[Russell 02] で評価値を最大化する手法を採用する。SA で採用する評価値はグループに分割した場合に存在するエッジの重みの和である。図3は二つのグループに分割する際に用いる評価値の具体例を示している。(A) のようにグループ分けした場合の評価値は、グループ1には論点1と論点2間におけるエッジの評価値3、グループ2には論点3、論点4と論点5間におけるエッジの評価値3および2の和の8となる。また、(B) のようにグループ分けした場合、評価値は論点1、論点2、論点3および論点5間のエッジの重みの和の9となる。

エージェントにとって自身の相互依存度が高い論点同士を分割することは、最適な合意案ではない低い効用値の合意案が生成されるリスクが存在する。つまり、全ての論点を考慮すれば効用が高く最適な合意案だとしても、グループに分割して相互依存関係を無視すると、効用が低い合意案が生成される可能性がある。したがって、論点グループを決定する際には各論点の相互依存関係を反映したグループを決定する必要がある。

[Step3: 入札の生成]

まず、エージェントは全ての論点を対象にして入札を生成する。具体的には、まず効用の高い合意案が存在する範囲を特定するために、エージェントがそれぞれの効用空間でサンプリングを行う。エージェントは一様分布に従う乱数に基づいてあらかじめ決まった数のサンプリングポイントを取得する。次に、効用空間のサンプリングの調整を行う。各エージェントは SA に基づく最適化を行い、サンプリングポイント周辺の合意案候補の発見を試みる。最後に、入札の生成を行う。エージェントは、サンプルを調整して得られた各合意案に関して効用を計算する。ここでの効用とは合意案を充足する制約の効用の総和である。効用が閾値を越えている場合に限りエージェントは入札を生成する。生成する入札は合意案と同一の効用が得られる周辺全てをカバーするように生成される。このような入札は、合意案 s に充足される全ての制約の共通範囲を取ることで容易に生成できる。

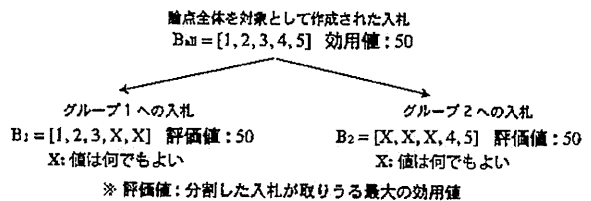


図4 エージェントによる入札の分割

次に、全ての論点を対象にして生成した入札をグループ別に分割し、分割した入札に対して評価値を決定する。評価値は、分割した入札が取りうる最大の効用値とする。

例えば図4が示すようにすべての論点数が5であり、全論点対象に生成した入札 ($B_{all} = [1, 2, 3, 4, 5]$ でそのときの効用値 50) を論点 1-3 が対象のグループ 1 の入札 (B_1) と論点 4,5 が対象のグループ 2 の入札 (B_2) の 2 つに分割する場合を考える。以上の設定のとき、 $B_1 = [1, 2, 3, X, X]$ 、 $B_2 = [X, X, X, 4, 5]$ (X : 値は何でもよいことを示す) と分割される。また、 B_1, B_2 とも評価値として 50 が設定される。全範囲の入札を行なう際に SA によるサンプリングポイントの最適化を行なうため、 B_1, B_2 とも分割した入札の取りうる最大値は $B_{all} = [1, 2, 3, 4, 5]$ となることが保証される。

本論文では、分割された入札における評価値として、分割された入札が取りうる最大値としている。本論文の評価値の設定により存在する合意案候補のうち最適な合意案を発見することが可能となる。

[Step4: 合意案の発見]

各エージェントの全ての入札の組み合わせを考慮し、グループ内で関係する論点間の合意案を決定する。ここでは、各エージェントにつき1つの入札を採用し、グループに属する論点間で互いに無矛盾で、最も評価値の高い入札の組み合わせを決定する。具体的には、まず、入札が持つグループ内の論点に関する値の範囲の共通部分が存在するかどうか判定する。その後、共通部分の中で最も評価値が高いものを、合意案として選択する。各入札がもつ社会的効用を最大化する入札の組み合わせを見つけるために、枝刈り付きの幅優先探索を行う。

そして、各グループから生成された合意案を組み合わせ、最終的な合意案を作成する。もし、グループ外の論点に関して相互依存関係が全くなければ、最終的に組み合わせられた最終的な合意案は、各グループで作成された合意案の評価値と一致するため、最適な合意案を発見できる。

5. 評価実験

5.1 実験設定

本実験では、エージェント間の交渉を 100 回試行し平均値を取る。効用空間作成のパラメータは以下の通りである。

- エージェント数：6
- 論点数：3-15
- 論点の値域：[0,9]
- 制約数（非線形効用空間）：10（単項制約），5（二項制約），5（三項制約）。
- 制約の最大効用：100 × (論点数)。従って、多くの論点に関して条件を満たす制約は、平均して、効用がより高くなる。本設定は、多くの問題領域において妥当であると考えられる。例えば、ミーティングスケジューリングにおいて、各論点を、個々の参加者のスケジューリングの可否として定義した場合、

より多くの参加者に関する制約が、より少数の参加者に関する制約より重要とするのは、自然な設定である。

- 制約の最大範囲：7。この設定の下では、例えば、以下の制約が妥当なものとして生成される。(論点 1, 論点 2, 論点 3) = ([2,6],[2,9],[1,3])。

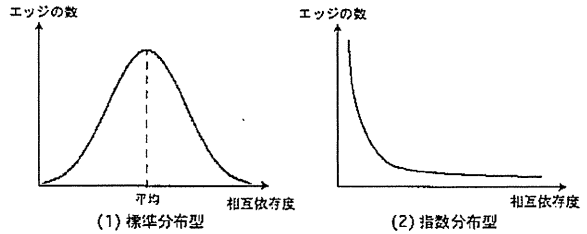


図5 各論点間の相互依存度の分布

以上のパラメータ条件において、各論点間の相互依存関係以外はランダムに決定される。各論点間の相互依存関係に関しては、(1)ランダムに決定(標準分布型)(2)指数乱数に基づいて決定(指数分布型)の2パターンに関して実験する。(1)標準分布型は、効用関数がどの論点に対して相互依存関係になるかは一様分布に基づく乱数によって決定される。一方、(2)指数分布型は、効用関数がどの論点に対して相互依存関係になるかは指数分布に基づく乱数によって決定される。図5は本実験で使用する、標準分布型および指数分布型の相互依存度とエッジ数の分布を示している。(1)標準分布型においては平均となる相互依存度のエッジ数が最も多く、平均から離れるにつれてエッジ数が少なくなっていく。一方、指数分布型では相互依存度が低いエッジ数が多く、相互依存度が多いエッジ数が少なくなっている。(1)は[Ito07]をはじめとした、交渉プロトコルの一般的な評価の際に用いられており、小規模の交渉問題を想定している。一方、(2)は論点数が膨大である大規模な交渉問題を想定している。

本実験では主に3つの手法の比較を行う。“(A) 論点グループ”は本論文で提案した論点グループに基づく交渉手法である。“(B) Basic Bidding”は[Ito07]で提案されている入札に基づく交渉手法であり、本論文で提案した論点グループを生成しない手法である。“(C) Q-Factor”は[Marsa-Maestre 09a, Marsa-Maestre 09b]において提案されている Maximum Weight Interdependent Set(MWIS)に基づく手法である。MWISは(B)と比較して、高いスケラビリティを示すことが実験的に分かっている。

以下は、(A)-(C)で共通して用いる、入札の生成に関するパラメータ [Ito07] である。

- サンプル数：(論点数) × 200。
- 個々のエージェントがサンプリングの際に行う SA では初期の温度を 30 とし、処理を 30 回繰り返す。
- 入札生成時の閾値：100
- 1 エージェント当りの入札数の上限： $\sqrt[3]{6400000}$ (N :

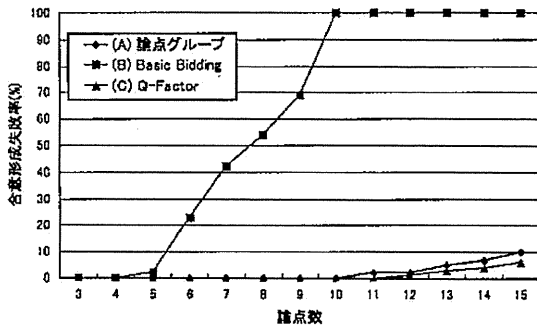


図6 合意形成失敗率の比較 (標準分布型)

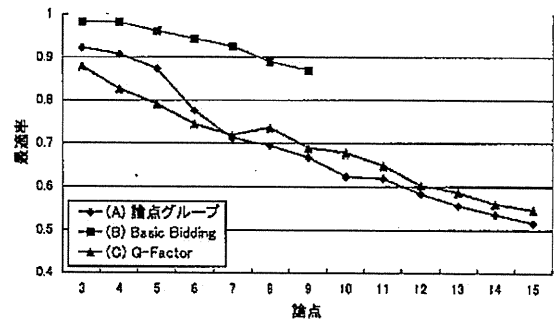


図7 最適率の比較 (標準分布型)

エージェント数). 本設定により, 勝者決定において, 6,400,000 以上の入札の組合せは計算されないため, 実用的な計算時間内で合意案が得られる.

(A) で用いる論点グループに基づく交渉プロトコルにおいて, グループ分割の際に用いる SA では初期の温度を 30 とし, 処理を 10 回繰り返す. 本設定は, グループ分割における計算コストは高々論点数 C グループ数 である. 以上から, 繰り返し回数が少なくなるように抑えている. また, 論点グループ数は 3 に設定した. (C) で用いる Q-Factor の式は $Q = u^\alpha * v^\beta$ (u : 効用値, v : 入札がもつ範囲) を採用し, $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$ とする.

最適率を求める実験において, 網羅的な探索を行った場合, 問題がスケールアップするにつれて計算量的困難が生じる. そこで, 全エージェントの効用関数をすべてメディアータに公開し, SA を用いた探索により, 発見した解を近似最適解とする. 近似最適解を求めるための SA は初期の温度を 50 度として, 500 回の繰り返し処理を経て温度を 0 まで下げることとし初期解はランダムに選択する. SA に基づく手法は, エージェントが効用に関する完全な情報をメディアータに公開し, 集中処理による求解を行うことになる. 以上から, プライバシー情報の公開について全く考慮しておらず, 実際にエージェントが効用に関する完全な情報を公開する事は非現実的な設定である. 本実験では, 提案プロトコルの性能評価の際に, 厳密解に近似した解が必要であるために, 比較対象としてのみ本手法を採用する. 本実験では (最適率) = (各手法で求めた解の効用値) / (近似最適解の効用値) を使用する. また, 最適率を求める際は合意形成失敗の交渉は結果に考慮せず, すべて合意形成に成功した場合のみ考えることとする.

実験は JAVA2(1.5) で記述し, Mac OS 10.5 が動作している iMac (Core2Duo 2.33GHz メモリ 1.5GB) で行った.

5.2 実験結果

図 6 は標準分布型の合意形成失敗率の比較を示している. (A) と (B) を比較すると, (A) の方が低い合意形成失敗率になっており, 合意形成の失敗を回避出来ているこ

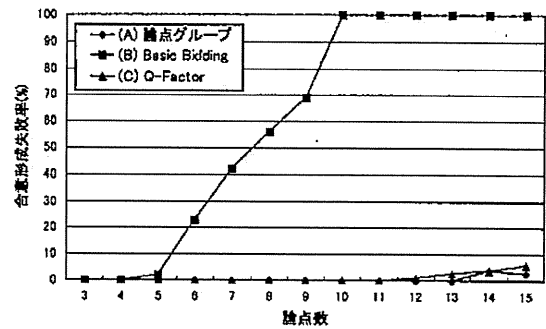


図8 合意形成失敗率の比較 (指数分布型)

とがわかる. (A) が合意形成失敗の回避に有効な理由は, 入札の組み合わせ最適解を求める際の計算コストが削減されているためである. また, (A) と (C) を比較した場合, 合意形成失敗率に大きな差は見られなかった. (A), (C) と同, グループ数や Q-Factor などの値の調整により合意形成失敗率を大きく改善することが可能である.

図 7 は標準分布型の最適率の比較を示している. (A) と (B) を比較した場合, (A) が (B) より少し低い値になっている. (A) の最適率が (B) より少し低い理由は, グループ分割により存在する論点間の相互依存関係を無視するからである. しかし, 無視する論点間の依存関係が少なくなるように最適化を行っているため, 大きく最適率が減少することを防ぐことができる. (A) と (C) を比較した場合, 同様の最適率になっている. 同様の最適率になる理由は, (A), (C) と同合意案の最適率を減少をできる限り防ぎながら, スケラビリティを向上させる手法だからである.

図 8 と図 9 は指数分布型における合意形成失敗率を示している. 標準分布型と比較して, (A)-(C) の合意形成失敗率に大きな変化はなかった. 一方, (A) の最適率が標準分布型と比較して改善している. (A) の最適率が改善している理由として, 論点グループに基づく手法は, 論点の相互依存関係を無視する場合が少ないほど, 最適率が高くなり, 指数分布型では標準分布型より相互依存関

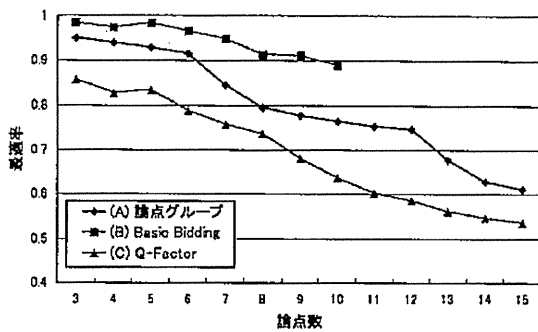


図9 最適率の比較 (指数分布型)

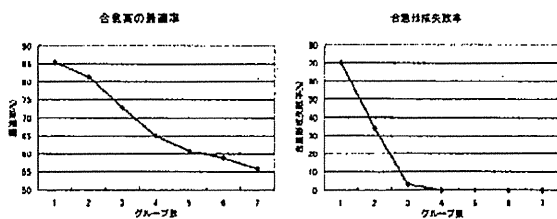


図10 グループ数の影響

係を無視する可能性が低くなるからである。一方、(B)や(C)は標準分布型と比較して大きな差はない。以上から、(B)や(C)は論点間の相互依存関係度の変化が、結果に大きく影響を与えないことが分かる。

図10は論点グループに基づく交渉手法においてグループ数が最適率、合意形成失敗率に与える影響を示している。本実験では、論点数：7、エージェント数：4として、効用空間の作成方法を標準分布型とした。論点グループに基づく交渉手法において、グループ数が増加するごとに最適率が減少している。最適率減少の理由は、グループ数が増えると論点間の相互依存関係度を無視する確率が増加するため、最適解を保証できる場合が減少するからである。一方、グループ数が増加するごとに合意形成失敗率が減少している。合意形成失敗率減少の理由はグループ数が増加すると、1グループが扱う論点数が減少するため、計算コストを大幅に削減できるからである。以上のように本論文で提案している論点グループに基づく交渉手法は、グループ数を適切に設定して、最適率、合意形成失敗率間のトレードオフを調整する必要がある。

6. 関連研究

本研究の先行研究として効用空間の絞り込みに基づく交渉手法 [服部 07] と閾値調整交渉メカニズム [藤田 08] が提案されている。効用空間の絞り込みに基づく交渉手法 [服部 07] において、メディエータは、クラスター入札、最大制約入札そしてピーク入札を行なうことで、ラ

ウンドごとに合意形成を探索する範囲を絞りこみながら交渉を行っていく。本文で提案されているメカニズムが論点数10のような大規模な交渉問題においても実行可能であり高い最適率と低い合意形成失敗率であることが示されている。しかし、評価実験において共有クラスタと呼ばれるすべてのエージェントに共有されている制約を定義した環境下で実験を行っているため本論文の同様の実験環境ではない。[服部 07] の実験環境と比較して、本論文の実験設定の方がランダム性が低く、合意案を発見しにくい環境である。さらに、論点数10の場合の実験しか行われていない。以上から論点数15の段階で合意形成失敗率がほぼ0である提案手法の方が、スケーラビリティが高いと考えられる。また、閾値調整メカニズム [藤田 08] は入札に関する閾値を調整しながら交渉を行なうことで、メディエータに公開する範囲を最低限にすることに成功している。しかし、論文において合意形成失敗率つまりスケーラビリティは [服部 06, Ito 07] と同様であることが示されている。また、手法の目的がスケーラビリティの向上ではなく、公開するプライバシー情報を最低限にすることであり、本論文の目的と異なる。

多くの既存研究は線形の効用関数のみに対応したものの [Bosse 05, Faratin 02, Fatima 04] だが、複数論点交渉問題における非線形効用関数に注目した文献も増え始めている。文献 [Lin 03] は、遺伝的アルゴリズムに基づく双方向型の交渉プロトコルを提案している。ここでは、エージェントが、他のエージェントの提案を取り入れながら自身の選好を更新し、高効用の解の決定を試みる。しかし、本文では、売り手と買い手のような、立場の異なる2種類のエージェント間の交渉問題が想定されているが、エージェントの選好に、より多くのバリエーションが存在するケースに関する議論も行われておらず、大規模な問題に関する性能が不明である。文献 [Klein 03] では、二項制約を含む中規模の双方向型の交渉問題を対象とし、SAに基づくメディエータが準最適解を得る手法が提案されている。一方、本論文では、さらに高次の依存関係と多数のエージェントが存在するより複雑な交渉問題に関して、高い合意案の最適性を議論している。文献 [Lai 06] は二者間の複数論点の交渉問題を取り扱っており、提案した手法がパレート最適性を満たす解を探すことが可能であることが示されている。また、文献 [Robu 05] では電子商取引における二者間の複数の商品取引や複数論点の交渉問題に対して Utility Graph を用いて取り組んでいる。さらに、文献 [Fatima 07] は時間制約が存在する二者間交渉を提案している。これらの研究は興味深い観点から様々な手法が提案されているが、どれも二者間に限った設定である。文献 [Shew 08] はメディエータを導入し交渉を行うフレームワークを提案している。さらに、agenda(議題)別に交渉を行っていく手法も導入されている。

また、分散制約最適化問題 (DCOP) において、セキュリ

ティを考慮した数々の論文が存在する [Maheswaran 08]. しかし, 多くの分散制約充足問題における設定はエージェントが必ず協力することを前提としており, エージェントの個人合理性が十分に仮定されていない. 組み合わせオークションにおいても, セキュリティを考慮した手法 [P. Cramton 06] が存在する. しかし, 交渉において“全て”のエージェントが勝者になるが, オークションでは少数のエージェントが勝者になる前提がある. 以上から本論文の問題に対して単純に, 組み合わせオークションや DCOP の手法を導入するのは困難である.

7. おわりに

本論文では, 論点グループに基づく合意形成手法を提案した. 論点グループに基づく交渉手法では, まず, エージェントが作成した相互依存関係グラフに基づいて, 存在する相互依存度が最大になるように論点グループ構成を決定する. そして, 論点グループごとにエージェントは入札を生成し, 組み合わせ最適解を求める. 最終的にグループごとに生成された合意案を組み合わせで最終合意案を発見する. シミュレーション実験を用いて, 既存の手法と比較して低い合意形成失敗率であることを示した. また, 論点グループ数や相互依存関係グラフの性質が合意案の最適率や合意形成失敗率に与える影響を解析した.

今後の課題として, 分割した入札に対する評価値の決定方法に関して, エージェントの戦略を考慮することが考えられる. 本論文では, 分割した入札がとりうる最大の効用値を評価値と設定したが, 戦略によって評価値を設定する方が現実的である. また, 本論文では基数的効用に基づいているが序数的効用の方が現実的な場合も存在する. 今後, 本論文で扱っている効用関数や交渉手法が序数的効用でも適用できるか解析する必要がある.

謝 辞

本研究は JST 戦略的創造研究推進事業 (さきかけ) の「知の創成と情報社会」研究領域により支援を受けている.

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Bosse 05] Bosse, T. and Jonker, C. M.: Human vs. Computer Behaviour in Multi-Issue Negotiation, in *Proc. of 1st International Workshop on Rational, Robust, and Secure Negotiations in Multi-Agent Systems (RRS-2005)*, pp. 11–24 (2005)
- [Faratin 02] Faratin, P., Sierra, C., and Jennings, N. R.: Using Similarity Criteria to Make Issue Trade-offs in Automated Negotiations, in *Artificial Intelligence*, pp. 142:205–237 (2002)
- [Fatima 04] Fatima, S. S., Wooldridge, M., and Jennings, N. R.: Optimal Negotiation of Multiple Issues in Incomplete Information Settings, in *Proc. of Third International Joint Conference on Autonomous Agent and Multi-Agent Systems (AAMAS-2004)*, pp. 1080–1087 (2004)
- [Fatima 07] Fatima, S. S., Wooldridge, M., and Jennings, N. R.: Approximate and online multi-issue negotiation, in *Proc. of 6th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2007)*, pp. 947–954 (2007)
- [Fujita 08] Fujita, K., Ito, T., and Klein, M.: A representative-based multi-round protocol for multi-issue negotiations, in *Proc. of 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2008)* (2008)
- [Ito 07] Ito, T., Hattori, H., and Klein, M.: Multi-issue Negotiation Protocol for Agents: Exploring Nonlinear Utility Spaces, in *Proc. of 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-2007)*, pp. 1347–1352 (2007)
- [Klein 03] Klein, M., Faratin, P., Sayama, H., and Bar-Yam, Y.: Negotiating Complex Contracts, *Group Decision and Negotiation*, Vol. 12, No. 2, pp. 58–73 (2003)
- [Lai 06] Lai, G., Li, C., and Sycara, K.: A general model for pareto optimal multi-attribute negotiations, in *Proc. of The 2nd International Workshop on Rational, Robust, and Secure Negotiations in Multi-Agent Systems (RRS-2006)* (2006)
- [Lin 03] Lin, R. J. and Chou, S. T.: Bilateral Multi-Issue Negotiations in a Dynamic Environment, in *Proc. of the AAMAS Workshop on Agent Mediated Electronic Commerce (AMEC-2003)* (2003)
- [Maheswaran 08] Maheswaran, R. T., Pearce, J. P., Varakantham, P., Bowring, E., and Tambe, M.: Privacy Loss in Distributed Constraint Reasoning: A Quantitative Framework for Analysis and its Applications, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Vol. 13, pp. 27–60 (2008)
- [Marsa-Maestre 09a] Marsa-Maestre, I., Lopez-Carmona, M. A., Velasco, J. R., Ito, T., Fujita, K., and Klein, M.: Balancing Utility and Deal Probability for Negotiations in Highly Nonlinear Utility Spaces, in *Proc. of Twenty-first International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-09)* (2009)
- [Marsa-Maestre 09b] Marsa-Maestre, I., Juan R. Velasco, nad M. A. L.-C., and Hoz, de la E.: Effective bidding and deal identification for negotiations in highly nonlinear scenarios, in *Proc. of The 8th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems (AAMAS-2009)*, pp. 1057–1064 (2009)
- [P. Cramton 06] P. Cramton, Y. S. and Steinberg, R.: *Combinational Auctions*, MIT Press (2006)
- [Robu 05] Robu, V., Somefun, D. J. A., and Poutre, J. L.: Modeling complex multi-issue negotiations using utility graphs, in *Proc. of the 4th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS 2005)* (2005)
- [Russell 02] Russell, S. J. and Norvig, P.: *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall (2002)
- [Shew 08] Shew, J. and Larson, K.: The Blind Leading the Blind: A Third-Party Model for Bilateral Multi-issue Negotiations under Incomplete Information, in *Proc. of The 1st International Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN-2008)* (2008)
- [藤田 08] 藤田 桂英, 伊藤 孝行, 服部 宏充: 複数論点交渉問題におけるエージェントの効用空間の公開範囲に基づく交渉手段の実現, コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会論文誌) 「ソフトウェアエージェントとその応用特集号」, Vol. 25, No. 4, pp. 167–180 (2008)
- [服部 06] 服部 宏充, 伊藤 孝行, Klein, M.: 非線形効用関数を持つエージェントのためのオークションに基づく交渉プロトコル, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol. J89-D, No. 12, pp. 2648–2660 (2006)
- [服部 07] 服部 宏充, 伊藤 孝行, Klein, M.: 複数論点交渉問題のための効用空間の絞り込みに基づくマルチエージェント交渉手法, 電子情報通信学会論文誌 D-I, 「ソフトウェアエージェントとその応用特集号」, Vol. J90-D, No. 9, pp. 2336–2348 (2007)

(担当委員: 大須賀 昭彦)

2009 年 12 月 18 日 受理

— 著 者 紹 介 —



藤田 桂英(学生会員)

2008年名古屋工業大学情報工学科卒業。2010年同大学院産業戦略工学専攻博士前期課程修了。同年同大学院情報工学専攻博士後期課程在学中。2010年6月より米国マサチューセッツ工科大学 Sloan School of Management, Visiting Student。現在に至る。マルチエージェントシステムに興味を持つ。2009年第24回電気通信普及財団賞(テレコムシステム技術学生賞)受賞他。IEEE, 情報処理学会, 電子情報通信学会各学生会員。



伊藤 孝行(正会員)

2000年名古屋工業大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。1999年から2001年にかけて日本学術振興会特別研究員(DC2及びPD)。2000年から2001年にかけて南カリフォルニア大学 Information Sciences Institute (USC/ISI) 客員研究員。2001年北陸先端科学技術大学院大学知能科学教育研究センター助教授。2003年より名古屋工業大学大学院情報工学専攻助教授。2005年から2006年にかけて米国ハーバード大学 Division of Engineering and

Applied Science 客員研究員及び、米国マサチューセッツ工科大学 Sloan School of Management 客員研究員。2006年より名古屋工業大学大学院産業戦略工学専攻准教授。2008年より米国マサチューセッツ工科大学 Sloan School of Management 客員研究員。2009年より科学技術振興機構(JST) さきがけ大挑戦型研究員。2010年より東京大学政策ビジョン研究センター客員研究員。現在に至る。2007年文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞。情報処理学会長尾真記念特別賞受賞。2006年 International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS2006) 最優秀論文賞受賞。2005年日本ソフトウェア科学会論文賞受賞。平成16年度IPA 未踏ソフトウェア創造事業スーパークリエイター認定。第66回情報処理学会全国大会優秀賞及び奨励賞受賞。マルチエージェントシステム, 計算論的メカニズムデザイン, オークション理論, 電子商取引支援, 大学発ソフトウェアベンチャーに興味を持つ。ACM 上級会員, AAAI, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会, 計測制御自動学会, 日本経済学会各会員。



Mark Klein

Dr. Mark Klein is a Principal Research Scientist at the MIT Center for Collective Intelligence, as well as an Affiliate at the MIT Computer Science and AI Lab (CSAIL) and the New England Complex Systems Institute (NECSI). His research focuses on understanding how computer technology can help groups, especially large ones, make better decisions about complex problems. He has made contributions in the areas of computer-supported conflict management for col-

laborative design, design rationale capture, business process re-design, exception handling in workflow and multi-agent systems, service discovery, negotiation algorithms, 'emergent' dysfunctions in distributed systems and, more recently, 'collective intelligence' systems to help people collaboratively solve complex problems like global warming.

Linguistic Analysis of Large-Scale Medical Incident Reports

KATSUhide FUJITA

School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0021, Japan,
fujita@ipr-ctr.t.u-tokyo.ac.jp

MASANORI AKIYAMA

Policy Alternatives Research Institutes, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan,
makiyama@pp.u-tokyo.ac.jp

KEUNSIK PARK

Osaka City University Hospital, 1-5-7 Asashi, Abeno-ku, Osaka, 545-8586, Japan, kspark@msic.med.osaka-cu.ac.jp

ETSUKO (NAKAGAMI) YAMAGUCHI

Osaka City University Hospital, 1-5-7 Asashi, Abeno-ku, Osaka, 545-8586, Japan, melano@skyblue.ocn.ne.jp

HIROYUKI FURUKAWA

Director of Pharmaceutical Service, Yamaguchi University Hospital, 1-1-1, Minamikogushi, Ube, 755-8505, Japan,
sambista-knz@umin.ac.jp

ICHIRO SAKATA

Policy Alternatives Research Institutes, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan,
isakata@ipr-ctr.t.u-tokyo.ac.jp

Abstract

The analysis of medical incident reports is indispensable for the patient safety management. Most of the incident reports include some free composition formats, therefore, the analysis of free descriptions gives new perceptions. We aimed to accumulate, to interpret information again by structured incident information, and to clarify the improvement point for safe medical treatments in this study.

We employ text mining techniques to the analysis of medical incident reports in this paper. The text mining can find various relationships that are not only direct relationships but also indirect relationships. First, some important characteristic words were extracted in three sections of the accident's details, responses and solutions using TF-IDF measures. By using the TF-IDF, we can get some important characteristic words for analyzing the reports. In addition, we show the co occurrence networks using these extracted words.

In addition, the class of medical treatments and the class of operations are granted. In the medical incident reports categorizing, a major direction of the medical incident analysis is the assimilation of the existing top-down type class grants by specialists. In this study, we evaluated existing categories using the bottom-up analysis and discussing the differences between existing classes granted the top-down analysis. There is a need to investigate whether classes granted here are in accord with the characteristics of each document item. For the bottom-up analysis, we generated a network of documents so that documents belonging to identical classes relating to the identical treatments and operations are grouped together the most. In this network of documents, nodes mean the documents of the medical incident reports and links means high similarities between two documents. After that, we conducted the network clustering in order to carry out labeling of each document based on networks.

By the analysis based on text mining and network clustering, the language networks with the hub of the word

“confirmation,” thereby revealing that inadequate confirmations on the drug labels, instructions of a physician and patient were very significant causes of accidents. These results suggest the effectiveness of introducing the network analysis method. In addition, the class of patient managements regarding patients’ fallings in top-down analysis is created clearly. On the other hand, some categorizes by top-down analysis don’t reflect the category by the bottom-up analysis.

Keywords: Medical Safety Management, Incident Reports Analysis, Network Analysis, Natural Language Processing

1. Introduction

“In the shadow of every serious accident, there exist 29 times more minor accidents and 300 times more near misses.” This principle was published in 1929 by Herbert William Heinrich, an assistant manager in the technology and research division of an American insurance company (Heinrich, 1931). This principle, which hits home the nature of the occurrence of accidents, is taken up in various fields, such as the study of failure, safety engineering, cognitive psychology as well as the study of reliability, and the incident analysis of minor accidents associated with this is recognized as being important in preventing accidents.

Also, the use of information pertaining to medical accidents is important when implementing medical safety management. The medical safety mechanism of WHO aims to prevent accidents by reusing incident reports through the introduction of IT and Management technologies. Harvard University is engaged in the standardization for the collection of medical accident reports and accident information in the risk management consortium. In England, the National Health Service conducts the medical accident/incident report collection project. Even in Japan, the Ministry of Health, Labour and Welfare began the project to Collect Medical Near-Miss/Adverse Event Information in 2001 (JCQHC, 2009). Through this project, the Ministry conducts analyses based on the collected incident reports.

On the other hand, regarding patient safety management, guidelines for the future deployment of incident analysis are set out in WHO’s International Classification of Patient Safety (WHO, 2009). ICPS states the necessity of first investigating the adequacy of classes of incident case studies such as those mentioned above, and second, methods of expressing incidents that adequately reflect these classes, i.e., it states the necessity of ontological construction.

In the Medical Near-Miss/Adverse Event Information including “Details of solutions (Detail),” “Act after incidents by medical staff and patient progress (Response),” and “Problem to solve (Solution)” for a single case are described using a free composition format. In this paper, we analyze the large number of medical incident reports (more than 15,000 reports) provided by Osaka City University using the

Natural Language Processing (NLP) and the Network Analysis (Manning et. al, 2002; Rasmussen, 1992).

In addition, in each case study the class of treatment and the class of operation are granted. There is a need to investigate whether classes granted here are in accord with the characteristics of each document item. In order to achieve the above, this study uses the network clustering (Newman, 2004).

The remainder of this paper is organized as follows. First, we describe the dataset of the medical incident reports provided by Osaka City University. Next, we describe the methodology based on the Natural Language Processing and the Network analysis for analyzing the large number of medical incident reports. Then, we present and discuss the results of analysis of incident reports. Finally, we present our overall conclusions.

2. Medical Incident Reports in Osaka City University Hospital

With increasing social demand for the prevention of medical accidents, the Health, Labour and Welfare Ministry started the Project to Collect Medical Near-Miss/Adverse Event Information from 2001 in order to collect and analyze incident case studies and to provide information conducive to medical safety, such as measures for improvements. When the project was first started, a framework was in place in which the Pharmaceuticals and Medical Devices Agency collected incident case studies from participating medical institutions and then reported these case studies to the Health, Labour and Welfare Ministry, following which a Health, Labour and Welfare Ministry study group conducted aggregate calculations and analysis. The 1st–10th collection of incident case studies were conducted following this framework, and information based on these collected incident case studies was provided by the Health, Labour and Welfare Ministry. From 2004, the Japan Council for Quality Health Care took over the collection of incident case studies, collecting case studies from the 11th collection (JCQHC, 2009). Doctors, nurses and pharmacists in some hospitals are obligated to submit the incident reports when some near-miss/adverse events are happened.

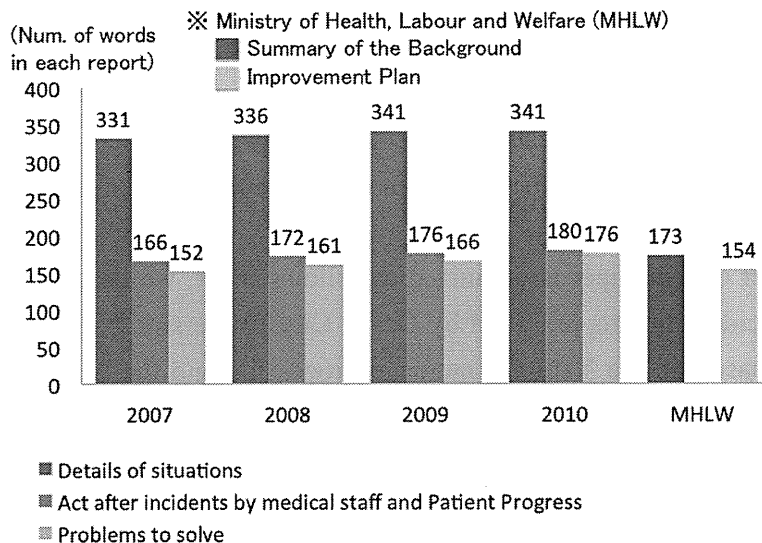


Figure 1: The number of words in each reports between Osaka City University Hospital datasets and MHLW datasets

Osaka City University also collected 18,340 incident reports from 2007 to 2010. In the incident reports provided by Osaka City University, free composition formats are taken quite seriously compared with ones provided by other Hospitals. For instance, the average number of words in the incident reports by Osaka City University is 341 words, on the other hand, the one by the Project to Collect Medical Near-Miss/Adverse Event Information is 173 words in 2010, as Figure 1 showing. In fact, doctors and nurses in Osaka City University have to input the reports for the free descriptions at first because of the Layout of data entry screen.

There are three sections for reporting the incident events: “Details of solutions (Detail),” “Act after incidents by medical staff and patient progress (Response),” and “Problem to solve (Solution).” These sections are different from the ones of Ministry of Health, Labour and Welfare. The combination of “Detail” and “Response” in Osaka City University is a same section as “Summary of Background” in the Ministry of Health, Labour and Welfare. With regard to the class of treatment, there are six classes of incident reports: Medicine and Blood Transfusion, Medical Equipment and Route, Patient Management, Examination, Treatment and Intervention, and Others.

When describing accidents in a free composition format, the reporter makes every effort to include every single circumstance. We can say that extracting important information from these circumstances means creating a foothold for a bottom-up type of ontological construction. Results obtained from this and links with classes granted

top-down is in accordance with the future guidelines for incident analysis sought by ICPS.

3. Methodologies of Natural Language Processing and Network Analysis

3.1 Methodologies for analyzing the incident reports

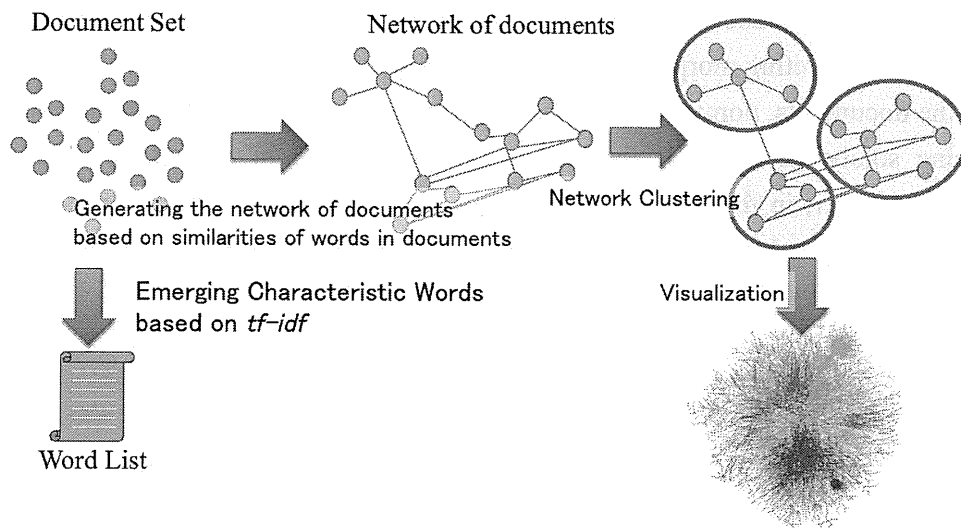


Figure 2. Methodology of analyzing the incident reports

In this paper, natural language processing was first conducted on the incident reports. Keywords that emerge characteristically were then extracted for each category of “Detail,” “Response,” and “Solution” using the *tfidf* method (Salton, 1983). After that, the semantic tendency of the incident report was investigated in order to create a network of words by calculating the co-occurrence information (Cohen, 2005; Takeda, 2006) of the characteristic words using best 30 based on *tf-idf*.

Also, we show the networks among each document, which are determined by the similarities between documents based on Jaccard coefficient (Jaccard, 1902; Jaccard 1912; Rasmussen, 1992). In generating the networks of documents, we selected best 100 characteristic words based on *tf-idf* measure that can be used in determining links. For determining the links between nodes, we used as a method for finding links from the degree of similarities between words in documents. After that, we conducted the network clustering to them. By the network clustering, the groups which means the

categories based on the bottom-up analysis are emerged. Figure 2 shows the workflow of the methodology for analyzing the medical incident reports.

3.2 Japanese language morphological analysis

In the first stage of preprocessing, we conducted morphological analysis in order to break down reports into words. Morphological analysis is a method used to delimit each word in the text where words are not delimited by spaces, such as in languages like Japanese (Manning, 2002). In this research we used MeCab, one of the most common engines for conducting morphological analysis (MeCab, 2006).

In the documents, nominalized verbs, general nouns, and proper nouns were targeted. Focusing solely on nouns is the method generally used in extracting characteristic words. Moreover, in the case of official documents in Japanese, as many of the verbs are nominalized, a lot of information can be obtained regarding action even if using only nouns.

3.3 TF-IDF method

In this study, we calculated a value called *tf-idf* from the frequency of occurrence and conducted filtering based on this values. *Tf-idf* is one of the most widely used indices in extracting characteristic words for document classes and in cases where a certain word occurs several times in a small number of documents, it is defined so as to enlarge that value (Salton, 1983). *Tf-idf* is calculated as follows:

$$tfidf(t, d) = tf(t, d) \times idf(t) - (1)$$

$$tf(t, d) = n(t) / \sum_{k \in T} n(k) - (2)$$

$$idf(t) = \log |D| / \{d : d \in t\} - (3)$$

Here, t is a term, d is a document, $n(t)$ is the frequency of occurrence of term t , $|D|$ is the total number of documents, and is $\{d : d \in t\}$ the number of documents in which word t occurs. T means the set of terms.

The *tfidf* of general words occurring in a large number of documents has a tendency to be of a low value, although words among even general words that have an abnormally high *tf* in some cases exceed the filter effect of *idf* and assume a high value.

3.4 Creation of co-occurrence networks

The co-occurrence index is generally used as a method for finding links between characteristic words in set of documents. Here, the simplest co-occurrence index for finding links between the two characteristic words w_A and w_B is the number of co-occurrence $|w_A \cap w_B|$. Here, $|w_A \cap w_B|$ is the number of documents that exist in both w_A and w_B , $|w_A \cup w_B|$ is the number of documents that exist in either w_A or w_B . In cases where $|w_A \cap w_B|/|w_A \cup w_B|$ exceeded the threshold value (0.1 in this study) then we treated those two words have a link.

3.5 Network of documents based on the Jaccard Similarity

Network analysis is an extremely effective method of looking at the links between documents (Kajikawa, 2007). By conducting network analysis, the discovery of hidden links between two nodes can be expected. In cases where links between only two documents are considered, even if there are no links, there are instances where overall links can be discovered by creating networks.

The co-occurrence index is generally used as a method for finding links from the degree of similarities between words in documents. Here, the simplest co-occurrence index for finding links between the two documents A and B is the number of words' co-occurrences between two documents. Here, $|A \cap B|$ is the number of characteristic words that exist in both document A and B . If considered with only $|A \cap B|$, there are problems such as including as many characteristic words as in long texts and links with other documents being displayed as high. In this paper, we used the Jaccard coefficient (Jaccard, 1902; Jaccard 1912; Rasmussen, 1992) as the similarities measure.

$$\text{Jaccard Coefficient: } |A \cap B|/|A \cup B| \quad (4)$$

$(|A \cap B|)$: The number of words that exist in both Document A and Document B

$|A \cup B|$: The number of word that exist in either Document A or Document B)

In generating the networks of documents, we selected best 100 characteristic words based on *tf-idf* measure that can be used in determining links. A link is established between the two documents in the event that these indices exceed the threshold value. The network changes acutely depending on which of the above indices are selected and how the threshold value is established. As the aim of this study is to investigate the

extent to which top-down type of classes are reflected in links in document content that is sought bottom-up, when forming networks, we selected the index and determined the threshold values so as to reflect most the given classes.

3.6 Network Clustering

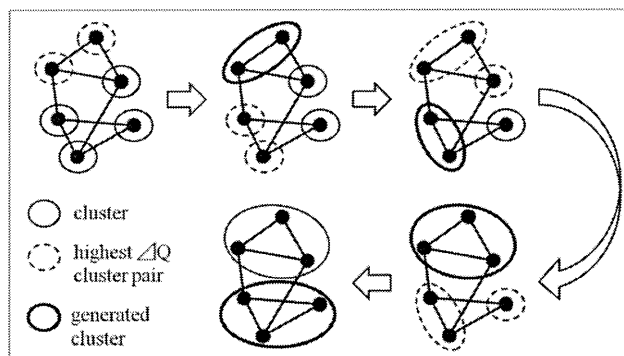


Figure 3. Newman Clustering

In this study, other than given classes, we conducted clustering using the Newman method (Newman, 2004) in order to divide all documents into some groups. Figure 3 shows that method of Newman Clustering. The Newman method is a widely used method for clustering networks. It can be applied even if the number of clusters is unknown; in recent years, it is also being widely applied in large-scale network analysis, such as SNS and blog, due to it being scalable in regard to increases in node numbers. As shown in formula (5), clustering was conducted by maximizing modularity Q , an index for evaluating the modularity of defined networks.

$$Q = \sum_i (e_{ii} - a_i^2) \quad \text{---(5)}$$

$$a_i = \sum_j e_{ij} \quad \text{---(6)}$$

Here, element e_{ij} of line e represents the fraction of the total number of edges of the number of edges that connect cluster i with cluster j and e_{ii} is the fraction of edges with both end vertices in the same community i . Maximizing Q corresponds with maximizing the disparity between the number of edges that exist within clusters and the number of edges that link clusters together.

Table 1. Best 20 Characteristic Word in Incident Reports (TF: Term Frequency)

	Detail	Reaction	Solution
1	Patient	Report	Confirmation
2	Confirmation	Patient	Time
3	Medicine	Check	Patient
4	Nurse	Confirmation	Order
5	Order	Attending Doctor	Medicine
6	Administration	Notice	Explain
7	Infusion	Doctor	Nursing
8	Pill	Call	Nurse
9	Room Visit	Night Shift	Thoroughness
10	Dose	Doctor	Nurse
11	Route	Order	Check
12	Find	Nurse	Use
13	Time	Explain	Medicine
14	Bed	Condition	Doctor
15	Morning	Apology	Route
16	Operation	Administration	Need
17	Give	Medicine	Time
18	Doctor	Minute	Internal use
19	Self	Measure	Attention
20	Report	Route	Infusion

Table 2. Best 20 Characteristic Word in Incident Reports (TF-IDF)

	Detail	Reaction	Solution
1	Medicine	Report	Confirmation
2	Patient	Patient	Time
3	Confirmation	Confirmation	Patient
4	Administration	Attending Doctor	Order
5	Order	Notice	Medicine
6	Nurse	Night Shift	Explain
7	Dose	Doctor	Nursing
8	Infusion	Order	Thoroughness
9	Room Visit	Nursing	In
10	Route	Explain	Check
11	Find	Condition	Use
12	Bed	Apology	Medicine
13	Operation	Administration	Doctor
14	Time	Medicine	Route
15	Use	Measure	Need
16	Report	Route	Time
17	Doctor	Dose	Administration
18	Toilet	Examination	After
19	Self	Self	Attention
20	Indication	Infusion	Before