

平成 21 年 4 月 29 日現在

研究種目： 基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号： 19500138
 研究課題名（和文） 大規模エージェントシステムのための
 スケーラブルな交渉プロトコルの研究
 研究課題名（英文） Study on scalable negotiation protocol for task allocations
 in large-scale multi-agent systems
 研究代表者
 菅原 俊治（SUGAWARA TOSHIHARU）
 早稲田大学・理工学術院・教授
 研究者番号：70396133

研究成果の概要：

本研究では、大規模なマルチエージェントシステムに向けて、スケーラビリティや全体の効率を考慮した交渉プロトコルによるタスクの割り当て手法を検討した。タスクの構造を単純化した仮定のもと、10000 以上のエージェントが相互に干渉する可能性のある環境で、既存の手法と比べ、特に重要と思われる局面で、30%程度の向上を実現する割り当て戦略を考案し、国際会議などで発表した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：マルチエージェントシステム

1. 研究開始当初の背景

これまでマルチエージェントシステムの分野において、共同作業あるいは協調動作のために、適切なエージェントに必要なタスクを依頼するための交渉プロトコルが研究され、当該分野研究の中心テーマの一つとなっている。なかでも契約ネットプロトコル(Contract Net Protocol。以下、契約ネットと略す)は、歴史的にも古く、また多くのシステムで活用されているプロトコルである。契約ネットとは、(a) マネージャ・エージェントがタスクを広報する、(b) 広報を受けたエージェントはそのタスクを適切な条件とともに入札する、(c) マネー

ジャ・エージェントが、入札の中から最善のものを落札者としタスクの実行を依頼する、といったプロトコルであり、社会的には基本的で自然な交渉方式である。近年はさらに高度で複雑な状況に対処するためのプロトコルを目指し、ゲーム理論や情報経済学とも結びついた各種オークションプロトコルなども多く提案されている。これらには、たとえば、公平性の確保や、悪意のある第三者による架空情報に対抗する方式もある。

一方、これらの応用として、交通システム等のアプリケーション、インターネット上の電子取引、広域分散システムの資源予

約やタスク割当てなどのミドルウェア/OSに関連など幅広い。たとえばTRACONETは、有名な都市交通スケジューリングへの応用であり、MITで開発されたFederated systemであるMedusaでは、オークションによる資源の割当てを提案している。エージェントは、プログラムやシステムのメタファーとして、現在のネットワークを中心とする自律分散システムと相性がよく、また複数のエージェント間のインタラクションに焦点を当てたマルチエージェントシステムのモデルも抽象度が高いため、潜在的に幅広い応用が期待される。交渉プロトコルもその中において、タスクや資源の割当て・資源分配を抽象的に表現したものであり、その応用は広い。

しかし、現在のように多数のプログラム（エージェント）が相互に影響する現状を考えると、そのスケーラビリティに課題がある。これまでの多くの研究では、各交渉が独立あるいは相互に影響が少ない条件で、多くは単一入札（一度に2つのタスクを入札しない）という単純なモデルで考えられてきた。現在のインターネットをベースとしたより高度で自由な各種商取引や各種グリッドコンピューティングが実現されたときには、多数の交渉が同時に行われ、その結果が相互に干渉する。さらに多数のエージェント間の交渉は、多量のメッセージを発生させる。タスクを入札するエージェントからは、大規模化により発生する大量の依頼（契約ネットやオークションであればタスクの広報）を解析し、入札の如何を判断しなくてはならず、これだけで多量の処理が発生する。仮に単一入札を採用すれば、多くの入札エージェントを待ちの状態として著しく効率を下げ、大量のタスクによる系への負荷に全く対応できない。しかし、複数入札は、タスクの多重落札が発生し、約束した契約より著しく悪い結果となると予想される。大規模なマルチエージェントで発生するこれらの課題やマクロ的現象とその性質の解明と活用は、これまでの国内外の研究を考慮しても十分に解明されていない。

2. 研究の目的

研究代表者は、多数のエージェントが相互に干渉する場合に、協調相手(タスクの依頼先)の学習と系全体の効率を観測してきた。この研究から得られた知見として、

系全体の負荷によって適切な協調相手の選択戦略が異なる、特に負荷が限界に近いときは適度な「揺らぎ」を導入するとさらに効率上昇する、を得た。これらの結果から契約ネットにおいても、落札者の選択戦略は系全体の負荷に依存すると予想

され、また簡単な予備実験によりその感触を得た。これは多数のエージェントが介在する系では、単純に広報の範囲を（ランダムあるいは学習などを使って）限定したり、最善エージェントを落札者として選択する戦略が必ずしも効率化を生まないことを示唆している。

そこで本研究では、シミュレーションによりタスクが与える系全体の負荷と入札・落札戦略の関係を解析する。この結果を元に、負荷に応じてエージェントが自律的に適切な入札・落札戦略を決定することを提案する。このためには、各エージェントが系の状態を推定する必要があるが、一般にオープンシステムでは全体の状態を直接知ることはできない。そこで本研究の基本的アイデアとして、通常の契約ネットやオークションでは無視されていた落札にも

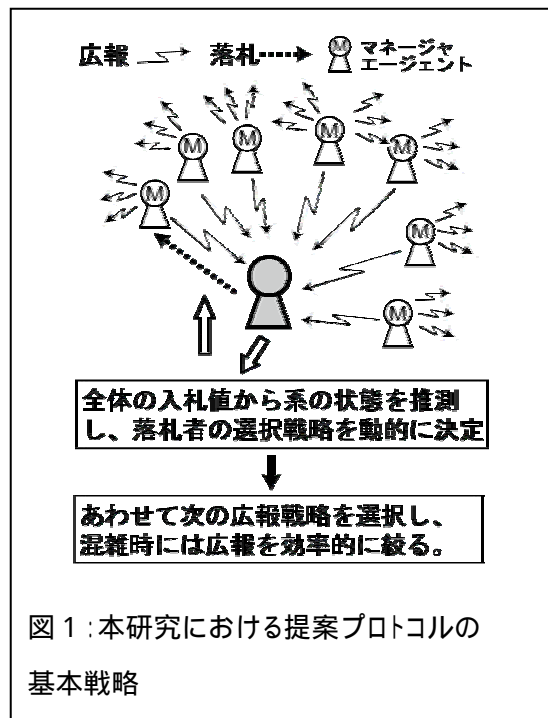


図1:本研究における提案プロトコルの基本戦略

れた全エージェントからの入札データを活用して状態を把握することを試みる。状態をエージェントが自律的に判断するために、交渉に入札状況に関する統計的学習を導入する。この結果に基づき、個々のエージェントが入札状況から全体の状況を判断し、それに応じて落札戦略を選択する、スケーラビリティを持つ新たな契約ネットプロトコルを提案することが狙いである(図1)。

3. 研究の方法

初年度は、多数のエージェントが存在し相互に影響し合う環境で、マクロな契約ネットの振舞いと効率の関係を把握することを目的とする。また、この状況が各エージェントの観点から如何に観測できるかをシミュ

レーションにより考察する。

大規模環境で契約ネットを遂行した場合に考えられる課題は、(i) プロトコルによる大量のメッセージ発生、(ii) 同時同一エージェントへの落札による効率低下がある。しかし、この課題の深刻度は系全体の負荷の度合い(タスクの発生数)に依存する。たとえば、低負荷であれば、それによるメッセージ発生量も少なく、また単純に最適な入札をしたものに落札してもかまわない。しかし、負荷が増えるに応じて、その状況は変わる。ここで重要なポイントは、その状況が、エージェントの各種戦略に応じて如何に変動するかを調査・把握することにある。ここで対象とする戦略は、以下の通りである。

- (a) 広報戦略: タスクを誰に広報するかを決定する戦略。たとえば、既知のエージェント全体、ある基準に従って限定した範囲、学習により広報する対象を選択などが考えられる。
- (b) 入札戦略: タスクの広報に対し、入札すべきかを決定する戦略。たとえば、一度に一つのみ入札する単一入札、複数の入札を許す複数入札、自己の能力やメモリ量を判断しての中間的戦略などがある。また、あわせて、入札値を決定する方式も組み合わせて考えなくてはならない。
- (c) 落札戦略: 入札の中から落札者を選択する戦略。たとえば、最善の入札値を落札する、入札値にあわせて確率的に選択し落札する、過去の経験(実績)との組み合わせで落札者を決定するなどがある。

これらの戦略をあらゆる負荷の場合(低負荷、臨界点、過負荷)で調査し、系全体の効率が如何に変わり、どの組み合わせが効果的かを調べる。このために、10000エージェント規模のシミュレータを構築し、ある分布(正規分布、一様分布など)に基づいて各エージェントに能力(処理能力など)を与え、全体の効率を調べる。さらに、この環境下で、負荷の変動と各エージェントで観測される入札値の分布の関係を調べ、系の負荷を推定する方式を検討する。

なお、その他の変動要因(たとえばタスクの種類が多数ある場合、エージェントにスキルがあり実行可能なタスクが異なる場合など)もあるが、本研究では優先順位を下げる。これは、はじめにより単純な場合に調査し、徐々に新たな要因を加え、それが系全体に与える影響を順に明確にするためであり、まずは、初期実験を確実に行うことに主眼をおく。

研究目的でも述べたように、我々がこれまで行ってきた研究から、単純な局所的な学習だけでは、タスクが偏る傾向があり、

全体としてうまく分配して働いてはいることが予想されている。このことから、各エージェントの学習と、負荷にあわせて適度に揺らぎを導入した広報・入札・落札戦略下での系の特徴を把握することが重要であり、この点を中心的に究明する。

2年目の目標は、初年度の実験を踏まえて、系全体の観点から効率的に動作する新たな契約ネットプロトコルを考案することである。

提案する契約ネットの基本的なアイデアは、初年度の実験結果を基に入札してきた値の分布から系の負荷を推定し、それに基づいて適切な戦略で落札者を決定する。ここで適切な戦略とは、最善の入札値を選択する、あるいは若干の揺らぎを導入して選択するなど選択方法を決定することであり、初年度の実験結果に基づく。同時に、系の負荷の度合いは広報戦略にも影響すると考えられる。よって、新たな契約ネットは、(a) 各エージェントが系の負荷を推定しながら落札戦略と広報戦略を自律的に決定する、(b) 必要であれば、推定した負荷を他のエージェントにも伝え入札戦略も系の状態に合うように自律的に適応させる、といった特徴を持つ。

ここでさらなる調査が必要となる。たとえば考案した契約ネットを評価する実験において、負荷が一定の場合に加え、いくつかのパターン(たとえば、ポアソン分布、パレート分布など)で負荷を変動させ、その効果と限界を明らかにする。

4. 研究成果

1年目は、特にタスクの広報範囲に関するポリシー、落札者選択のポリシーというマネージャー側の制御により、全体の効率が如何に変わるかをシミュレーションにより調べた。この結果、2つの重要な知見が得られた。第一に、広報範囲を狭めると能力の高いコントラクタに通知が行かない可能性はあるが、むしろシステムが大規模である程度の負荷があるときには、能力の高いコントラクタに落札することは処理の集中化を招き、効率を落とすこととなる。第二に、広報範囲を絞っても、常に最良のコントラクタを落札者として選択することは、効率の低下を招き、全体だけでなく、個々のマネージャーにとっても悪影響をあたえる。むしろ、ときどき最良でないコントラクタを選択することにより、効率、入札値の信頼度の両方同時に向上できることを確認した。これはエージェントが常に合理的な選択をしていると、その多くが同じ判断を下すこととなり、しかも同じ判断を下していることは他のエージェントからはわからない。

2年目では、昨年度の研究で得られた重

要な2つの知見である広報範囲と落札戦略に関する実験結果を活用し、状況に応じてその戦略を動的に変更する方法を提案した。具体的には、近隣のタスクの負荷に応じて、(1) 負荷が中程度の場合のみ落札者選択に揺らぎを導入する、(2) きわめて負荷が高い場合には広報範囲を絞る、の二点を動的に変更するタスク割り当て戦略となる。また、近隣の負荷を判断する方法として、近隣からの入札値の変化と学習によりこれを推定している。本提案により、単純な場合と比べて20-30%の効率化が可能であるとの結果を実験シミュレーションにより得ることができた。

なおシステムの効率化が望まれるところは、システム全体の能力の範囲ではあるが、きわめて負荷が高いときである。負荷が低い場合には、単純な戦略でも処理ができる。また理論的に能力を超えている状況では、いかなる戦略でも望む結果を得ることはできないからである。本提案戦略は、このもっとも望まれる部分での効率化が最大となり、きわめて有効と言える。

またタスクの発生がポアソン分布、パレート分布などのより現実的な状況においても、本方式が優れた効率化を発揮することも確認した。

本結果を、AAMASなど関連分野の難関会議に採録され発表を行った。本成果は、インターネットなど多数の計算機とソフトウェアが結びついた環境において、効率化をもたらすタスク割り当て方式を実現する基本的な知見になると考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計13件)

菅原俊治, “マルチエージェントパラダイムとネットワーク,” 人工知能学会誌, Vol. 23, No.5, pp. 645-651, 2008, 査読有.

Toshiharu Sugawara, Toshio Hirotsu, Satoshi Kurihara and Kensuke Fukuda, “Controlling Contract Net Protocol by Local Observation for Large-Scale Multi-Agent Systems,” Cooperative Information Agents XII, LNCS 5180, Springer, pp. 206-220, 2008, 査読有.

高橋謙輔, 菅原俊治, “センサー間の隣接関係の自動推定の高精度化,” FIT2008 予稿集(査読付き), 電子情報通信学会/情報処理学会, 2008, 査読有.

Osamu Akashi, Kensuke Fukuda, Satoshi Kurihara, Hirotsu Toshio and Toshiharu Sugawara, “Application of Massively Multi-agent System to Internet Routing Management,”

Massively Multi-Agent Technology, LNCS 5043, Springer, pp. 131-145, 2008, 査読有.

Toshiharu Sugawara, Toshio Hirotsu, Satoshi Kurihara and Kensuke Fukuda, “Adaptive Manager-side Control Policy in Contract Net Protocol for Massively Multi-Agent Systems,” Proceedings of 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS2008), pp. 1433-1436, 2008, 査読有.

Toshiharu Sugawara, Toshio Hirotsu, Satoshi Kurihara and Kensuke Fukuda, “Effects of Fluctuation in Manager-side Controls on Contract Net Protocol in Massively Multi-agent Systems,” Proceedings of IEEE SMC International Conference on Distributed Human-Machine Systems (DHMS2008), pp. 152-157, 2008, 査読有.

Shin-ya Sato, Kensuke Fukuda, Satoshi Kurihara, Toshio Hirotsu and Toshiharu Sugawara, “Generating extensional definitions of concepts from ostensive definitions by using Web,” Proceedings of the 8th International Conference on Web Information Systems Engineering (WISE2007), LNCS 4831, pp. 583-592, Springer, 2007, 査読有.

福田健介, 佐藤進也, 明石修, 廣津登志夫, 栗原聡, 菅原俊治, “ネットワークポロジの次数情報に着目した、サーバ・クライアント負荷分散方式の提案と評価,” コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会), Vol. 24, No. 4, pp. 78-87, 2007, 査読有.

Toshiharu Sugawara, Toshio Hirotsu, Satoshi Kurihara and Kensuke Fukuda, “Performance Variation Due to Interference Among a Large Number of Self-Interested Agents,” Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE CEC 2007), pp. 766-773, 2007, 査読有.

菅原俊治, 福田健介, 廣津登志夫, 栗原聡, “大規模自律エージェントシステムにおける契約ネットプロトコルの効率特性,” 情報科学技術レターズ, Vol. 6, pp. 165-168, 電子情報通信学会/情報処理学会, (FIT2007 論文賞), 査読有.

寺内敦, 明石修, 丸山充, 菅原俊治, 福田健介, 廣津登志夫, 栗原聡, 小柳恵一, “広域ネットワークに対応したマルチエージェント組織化支援システム,” 人工知能学

会誌, Vol. 22, No. 5, pp. 482-492, 2007, 査読有.

Toshiharu Sugawara, Satoshi Kurihara, Toshio Hirotsu, Kensuke Fukuda, Toshihiro Takada, "Conflict Estimation of Abstract Plans for Multi-Agent Systems," Proceedings of 6th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS2007), pp. 844-846, 2007, 査読有.

Kensuke Fukuda, Toshio Hirotsu, Satoshi Kurihara, Shin-ya Sato, Osamu Akashi, Toshiharu Sugawara, "The Impact of Network Model on Performance of Load-balancing," In Emergent Intelligence of Networked Agents, Studies in Computational Intelligence Series, Vol. 56, pp. 23-37, Springer, 2007, 査読有.

Toshiharu Sugawara, Kensuke Fukuda, Toshio Hirotsu, Shin-ya Sato and Satoshi Kurihara, "Improvements in Performance of Large-Scale Multi-Agent Systems Based on the Adaptive/Non-Adaptive Agent Selection," In Emergent Intelligence of Networked Agents, Studies in Computational Intelligence Series, Vol. 56, pp. 217-230, Springer, 2007, 査読有.

[学会発表](計1件)

菅原俊治, 栗原聡, 廣津登志夫, 福田健介, "大規模マルチエージェントシステムのための確率的落札戦略の提案と評価," エージェント合同シンポジウム (JAWS2008) 論文集, pp. 461-468, 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会, 人工知能学会, 情報処理学会共催, 2008, 査読有.

[図書](計2件)

Satoshi Kurihara, Kensuke Fukuda, Shinya Sato and Toshiharu Sugawara, "Indirect Coordination Mechanism of MAS," Multiagent Systems (ISBN 978-3-902613-51-6), Eds: Salman Ahmed and Mohd Noh Karsiti, Chapter 10, IN-TECH, pp. 221 - 232, 2009.
Nadeem Jamali, Paul Scerri and Toshiharu Sugawara (Eds.), Massively Multi-Agent Technology, LNCS/LNAI 5043, Springer, 2008.

[産業財産権]
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅原 俊治 (SUGAWARA TOSHIHARU)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号: 70396133

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

廣津 登志夫 (HIROTSU TOSHIO)

豊橋技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号: 10378268

福田 健介 (FUKUDA KENSUKE)

国立情報学研究所・アーキテクチャ研究系・
准教授

研究者番号: 90435503

栗原 聡 (KURIHARA SATOSHI)

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号: 30397658