

エージェントのための私的信用情報を利用した仲介機構の提案

小野 智弘 西山 智 堀内浩規

(株)KDD 研究所

概要

近年、インターネット上での e-marketplace, e-commerce 等の出現に伴い、その実現技術としてのエージェント技術が注目されている。これらの上では互いに知らないエージェント同士が協調する可能性があり、エージェント間を引き合わせる仲介機構が必要となる。これまでに、各エージェントの持つ機能に基づいて仲介を行う仲介エージェントの概念や実装が発表されているが、取引実績のないエージェント間を仲介するには信用性の面で十分でない。そこで筆者らは、各エージェントの持つ私的な信用情報を集め、この信用情報と機能の両方に基づいて仲介を行う仲介エージェントを提案する。また、同仲介エージェントを、JATLite エージェントプラットフォーム上に実装し、建設業界でのサプライチェーンマネージメントでの有効性を検討したので併せて報告する。

Proposal of mediation mechanism for agents using word-of-mouth trust

Chihiro Ono, Satoshi Nishiyama and Hiroki Horiuchi

KDD R&D Laboratories, Inc.

ABSTRACT

In this paper, we propose a mediator agent which finds capable and trustworthy partners on behalf of client users, which helps users to form and maintain e-partnerships for electronic commerce and electronic collaboration. Unlike existing capability-based facilitators or matchmakers, the mediator agent collects and maintains private "word-of-mouth" trust information as well as capabilities from each user and uses the information for personalized trust-based facilitation for each user, which is done through the facilitation protocols and trust propagation mechanism. Compared to other existing trust mechanisms, the characteristics of trust which this mediator agent handles are personalized-collaborative-subjective-qualitative-private. The mediator agent was implemented as a JATLite multi-agent system and tested in the area of construction supply-chain coordination.

1 はじめに

近年、インターネット関連の技術の向上とコンテンツの充実に伴い、e-marketplace や e-commerce 等のオンラインコミュニティが急速に出現している。ここでは、“エージェント”と呼ばれる自動化されたソフトウェアプログラム間での協調や交渉が行われる。例えば、建設業界では、サブコントラクタ（の代理のエージェント）がスケジュールやタスクをゼネラルコントラクタ（の代理のエージェント）と交渉を行う。これらのオンラインコミュニティでは、参加者（エージェント）が互いに協調したり取引を行うためのパートナーシップ（我々は e-partnership と呼ぶ）を確立することが、スケジュールやタスク調整など多くのアプリケーションにとって非常に重要となる。

このような場合、個々のエージェントが私的に信用できるエージェント群とのパートナーシップの確立や維持ができる機構をもつことが必須となる。このパートナーシップは動的であり、応用からの要求に応じて即座に形

成される必要がある。また、エージェントのパートナーシップへの加入や除名が適切に行われる必要がある。

本稿での筆者らのオンラインコミュニティに対する仮定は以下のとおりである：1) 非常に多くの参加エージェントがあり、各エージェントはお互いに取引経験や相手の情報を知らない場合も多い；2) エージェントはコミュニティに頻繁に参加したり離れたりする；3) エージェントは相手に対する自分の評価は秘密にしておきたい。このような仮定の下では、数多くの潜在的なパートナーの中から交渉すべき適切なパートナー群を動的に見つけることは重要となる。例えば建設プロジェクトでは、サブコントラクタはスケジュールやタスクを調整する潜在的なパートナーを見つける必要がある。

これまでに、各エージェントの持つ機能を収集し、それに基づいてエージェント間の仲介を行うエージェントとしてファシリテータの概念が提案されている[12]。この一般的な流れを図1に示す。ここでは、1) あらかじめ機能提供側のエージェントがファシリテータに自身の機

能を登録しておき、2) 要求側のエージェントがファシリテータに仲介要求を送ると、3) ファシリテータが所望の機能を持つエージェントのリストを要求側のエージェントへ返す。

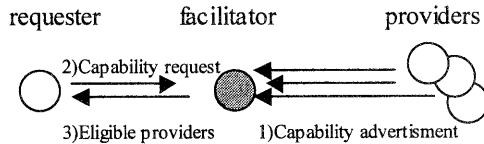


図1 ファシリテータの一般的仕組み

また、これまでに動的な e-partnership を形成するためのファシリテータと同様の仕組みを提供する幾つかの標準がある。エージェント間通信のための標準的な言語である Knowledge Query and Manipulation Language (KQML) [11] ではファシリテータの存在を仮定しており、仲介のための broker, recommend, recruit, subset プロトコルが提案されている。エージェントアーキテクチャや通信、管理などのエージェント関連の標準化を行っている Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) [7] では、Directory Facilitator (DF) とよばれるファシリテータを持つ。大規模分散オブジェクトアプリケーションのための標準である Common Object Request Broker Architecture (CORBA) [4] でも、TRADER と呼ばれるファシリテータが規定されている。Java ベースの分散アプリケーションのための標準である Jini [8] においても、Lookup サーバによる YP (イヨーロッパサービス) が規定されている。標準化の他にもファシリテータの実装として、カーネギーメロン大学の Matchmaker [12] や、マサチューセッツ工科大学の Kasbah [3] 等が発表されている。

ところが、これらは全てサービス提供者から登録された機能のみに基づく仲介を行うもので、筆者らの仮定する環境下で、不適切な相手との取引を避けて e-partnership を構築するには十分ではない。そこで、要求者と提供者双方の信用度に基づいて要求や応答を何らかの形でフィルタリングやランク付けする必要がある。オフライン社会での信用情報を考えると、word-of-mouth (私的信用) 情報が非常に重要かつ有効であると考えられている [2]。特に、私的な信用情報を利用する方が市場サーベイなどの第 3 者の格付け機関を利用するよりも効果的である例が多数挙げられている。従って、本稿では、サービス提供者の機能に加えて 参加者の私的信用情報に基づいて仲介を行う仲介エージェントを提案する。2 章では信用情報の分類を試みる。3 章では仲介エージェントによる私的信用情報の利用を述べ、4 章では仲介エージェントの設計を行う。5 章では実装、6 章では仲介エージェントを利用した応用例を述べ、7 章では結論と今後の課題を述べる。

2 e-partnership のための信用情報の分類

筆者らは、信用情報を Zolin らの定義 [14] にあるように、仲介エージェントにおいて仲介するか否かを決定するための一要素として利用する。仲介に利用する“信用情報”については、これまでに rating system や reputation system 等様々な応用で様々な定義、利用されてきたが、特徴に基づいて体系的に分類されていない。そこで本章で、信用情報を以下の 5 つの観点で特徴付けることを試みる。

- 1) 対象エージェントに対する信用値の共通性：
 - (ア) 共通：全ての参加者で同一
 - (イ) 個別：評価者により異なる
- 2) 対象エージェントの評価者：
 - (ア) 信用機関：第 3 の信用機関
 - (イ) 参加者：各参加エージェント
- 3) 評価の客観性：
 - (ア) 客観：共通の基準に基づく
 - (イ) 主観：独自の基準に基づく
- 4) 値の複雑さ：
 - (ア) 量的：数値
 - (イ) 質的：二値 (正負)
- 5) 値の公開性：
 - (ア) 公開：一般へ公開
 - (イ) 非公開：一般へは非公開

上記に基づき既存の応用や手法を分類したものを図 2 に示す。Better Business Bureau (BBB) [1] や Dun and Bradstreet (D&B) [5] は企業の評価を行い、問い合わせに対して企業情報を提供する機関である。ここでは企業の経営情報や利益情報に加えて、信用情報も提供される。BBB は 8000 以上の会員企業があり、D&B は、5800 万以上の企業の評価情報を有している。BBB も D&B も自社の統一された基準を下に (客観)、自社自身で会社評価を行い (信用機関)、企業に対する共通の評価値 (共通) を提供する。評価値の複雑さについては、BBB は二値の評価値を与え、D&B は数値での評価値を与えている。

共通性	評価者	客観性	複雑さ	公開性	応用や手法
信用機関	共通	客観	質的	公開	BBB
			量的	公開	D&B
共通	参加者	主観	質的	公開	ebay
			量的	公開	M anchara, Zacharia
個別	参加者	主観	質的	非公開	word-of-mouth (本稿での提案)

図2 信用情報を扱う応用や手法の分類

eBay [6] は会員数 1000 万人以上のオークションサイトを運営している。eBay では売主や買主から取引後に互いに対するフィードバックを集め、それを集計して個々に対する信用度として会員向けに公表している。これにより会員は事前に潜在的な取引相手の評価値を確認するこ

とができる。つまり、eBayは「参加者」による「質的」「主観的」評価を集め、「共通」な値として「公開」している。

これまでに「個別」「参加者」「主観」評価を扱うアルゴリズムが幾つか提案されている。個別の信用情報を扱う場合は、間接的に相手を知るといった概念を持ち込むために中間エージェントを仮定することが多いが、Mancharaらは、各エージェント間に中間エージェントがいた場合、各エージェントの持つ相手への数値の信用値を組み合わせて間接的な信用情報値を算出する手法を提案している[10]。しかしながら、起点エージェントから対象エージェントへのパスの発見手法が言及されていないこと、各エージェント間の信用情報値の数値計算が非常に複雑という問題がある。Zachariaらも、起点エージェントと対象エージェント間での協調評価機構を提案している[13]。これについても、間接的信用情報値の算出の際の数値計算を、必ずしも使用しないパスを含めて全て計算する等複雑である。

3 仲介エージェントによる私的信用情報の利用

既存の仲介エージェントの枠組みを有効活用するために、仲介エージェントにおいて、参加者エージェントから各々の持つ信用情報を機能と同時に収集し、それを利用して仲介を行うこととする。扱う信用情報については、これまでにオフライン社会での仲介システムにおいてWord-of-mouth（私的信用）情報の有効性が述べられているため[2]、これを扱うこととする。Word-of-mouth情報を前述の5つの観点に対応付けると以下ようになる。

- 1) 個別の信用情報を扱う。つまり agentA に対する agentB の評価と、同じ agentA に対する agentC の評価が異なり、agentB に対する agentA の評価も異なる。従って仲介エージェントは $n(n-1)$ 通りの値を保持する。
- 2) 評価者は各参加エージェントとなる。
- 3) 客観性は、評価が各エージェントに委ねられるため独自の基準となる。
- 4) 複雑さは、仲介エージェントにて $n(n-1)$ 種類の情報を保持、随時更新可能なほど簡易なものとする。
- 5) 公開性は、集めた値は各エージェントの個人的な意見であるため非公開とする。

さらに[2]の議論に基づき、以下も要求条件に加える。

- 6) 値は伝播可能とする。つまり、agentA が agentB を信頼し、agentB が agentC を信頼するならば agentA は agentC を信頼できるとする。
- 7) 信用値は機能ごとに別々に存在する。つまり、あるエージェントを車の販売者としては信用しても車の修理者として信用できるとは限らない。

3.1 信用情報の表現方法

信用情報には、対象エージェントを直接評価する値と間接的に評価する値をとる。Manchara や Zacharia による方法では、信用値を 0.1~1.0 等の連続的な数値で表し

ているが、仲介エージェントでは全てのエージェント間の信用情報を一括して維持する必要があるため、次の5つの質的な値で表現することとする。

直接評価値は、エージェントが対象エージェントとの直接の取引経験に基づいて評価する場合で、以下の2つの値をとる。

- DP(Direct Positive)：起点エージェントが対象エージェントを直接信頼する
- DN(Direct Negative)：起点エージェントが対象エージェントを直接信頼していない

間接的信用情報値は、起点エージェントから対象エージェントまで伝播された信用情報を使って評価するもので、以下の2つの値をとる。

- IP(Indirect Positive)：起点エージェントが対象エージェントを間接的に信用する。
- IN(Indirect Negative)：起点エージェントが対象エージェントを間接的に信用していない

また、いずれでもない場合は以下とする。

- UN(Unknown)：起点エージェントは対象エージェントを信頼するかどうかを判断できない。

このように、信用値は上記の5つの値のいずれかをとり、 $N \times N$ の信用情報テーブルに機能ごとに管理する。例を図3に示す。これは、AgentA が機能 F について AgentB, E を直接信用し、AgentC, D を間接的に信用していることを表している。

Trust Table for capability F						
	AA	AB	AC	AD	AE	AF
AgentA		DP	IP	IP	DP	UN
AgentB	DP		DP	UN	DP	UN
AgentC	IN	DN		DN	DP	UN
AgentD	IP	DP	IP		IP	DP
AgentE	DN	IP	DP	DP		UN
AgentF	UN	IP	UN	DP	UN	

図3 信用情報テーブルの例

4 仲介エージェントの設計

上記の方針に基づき、仲介エージェントは機能と信用情報を参加エージェントから収集し、機能ごとに信用情報を更新し、仲介に利用する。本章では、仲介エージェントを利用するためのプロトコル、登録および要求方法、メッセージフォーマット、信用情報の維持手法を述べる。

4.1 仲介プロトコル

仲介プロトコルについては、エージェント用通信プロトコル KQML[11]で定義されている4種類の仲介プロトコル(broker, recruit, recommend, subscribe)を利用する(図4参照)。KQMLにおける仲介プロトコルでは、参加エージェントが content パラメータに自分の機能を記述して仲介エージェントへ登録するが、同時に信用情報を登録可能とする。

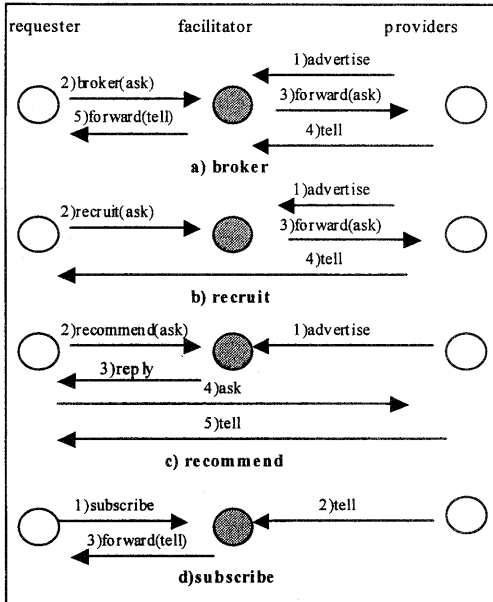


図4 仲介プロトコル

プロトコルで使用するメッセージフォーマットを図5に示す。Message はメッセージタイプ (message_type)、機能情報 (cap_info)、信用情報 (trust_info) を持ち、メッセージタイプは、REGISTRATION、QUESTION、ANSWER を含む。機能情報は、機能名 (context_type)、条件 (condition)、取り出したい情報 (extract_item)、結果 (result) を含む。機能名と属性名については、本稿では、各参加エージェントが共通の語彙 (オントロジー) を有することを仮定し、一意であるとする。機能情報の中では、機能名のみが仲介エージェントで解釈され、残りは要求者または提供者エージェントで解釈される。

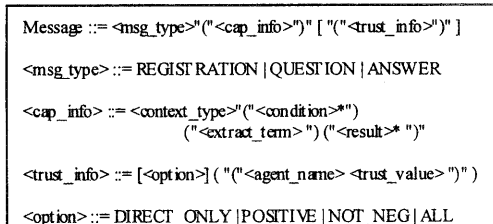


図5 メッセージフォーマット

信用情報は、オプション(option)および、エージェント名と信用値のペアの集合からなる。オプションは、仲介時における信用情報の利用の度合いを指定するもので、

要求者および提供者エージェントから指定可能で、以下から選択可能とする。

- DP_ONLY : 自分が DP の値をつけたもののみ
- POSITIVE : DP または IP
- NOT_NEG : DP または IP または UN
- ALL : すべて

信用情報の登録は KQML の "advertise" パフォーマティブを利用する。提供者エージェントにとっては、図6の a) に示すように機能の登録と同時に信用情報を登録できる。a) では、agentA が 仲介エージェントに対して自分が car_sales であることを登録しているが、同時に agentB を信用し、agentC を信用していない事実も登録している。要求者エージェントの場合は、図6b) に示すように、仲介要求と同時に信用情報を登録できる。ここでは、agentB が facilitator1 に対し、1997 年以降で \$9000 以下の車を販売してる car_sales エージェントを要求している。またこれは結果として Make と Price を要求し、自身が agentC を信用していることの登録、仲介相手には DP または IP のエージェントのみを返却して欲しいことも意味している。図6c) は、facilitator1 からの応答例で、\$8000 のトヨタと \$7050 の FORD があることを示している。

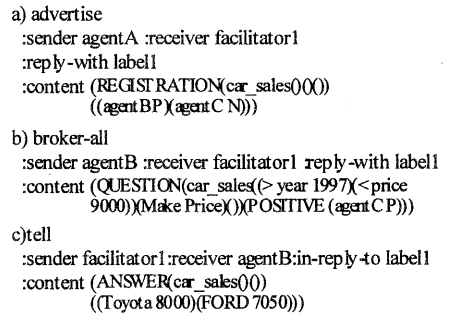


図6 KQML メッセージの例

4.2 信用情報の維持と間接的信用値の算出手法

仲介エージェントでは、信用情報を内部の動的なデータベースへ保存する。具体的には機能ごとに N*N の信用テーブルへ保存する。ユーザから登録される情報は DP または DN であり、仲介エージェントでは、新しい信用情報が登録されると、UN (デフォルト値) を IP または IN に計算により変換する。計算のタイミングについては、候補となるエージェント群を信用情報を用いて即時にフィルタリングに利用可能とするために、あらかじめ間接的な信用値を全て算出し、常に最新の状態で維持する方式を採用する。具体的には新しい信用情報が更新されるたびに、全ての UN、IP、IN を再計算する。

エージェント X1 からエージェント Xn までの間接的な信用情報の導出を以下の2ステップで行う。

- [ステップ1] X1 から Xn までのパスを探す
 [ステップ2] 複数のパスがあればタイブレークを行う。
 ステップ1の方針は以下のとおりとする。
- エージェントは他のエージェントの直接の信用情報のみをパスの対象とする
 - Xj から Xj+1 (1<j<n-2) までは、DPのみを使用する
 - Xn-1 から Xn までは、DP または DN を使用する。DP の場合は Indirect Positive (IP) となり、DN の場合は Indirect Negative (IN) となる (図7参照)

ここでは、間接的な信用情報は伝播に利用できるほどには信用できないという方針に基づいた。
 タイブレークの方式については、応用の特徴を考慮し、以下のような方法の中から選択する。

- 最もパス長の短いものの値を採用し、最短同長のパスが複数ある場合には、IN と IP の値の多いほうを採用する
- 一つでも IN があれば、IN とする (リスク回避的)
- パスの長さに応じて重み付けをして比較する

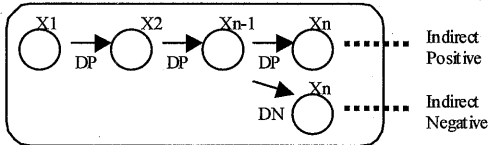


図7 間接的信用値の算出方法

また、値の更新については、新しい値が入力されるたびに信用情報テーブル中の UN, IP, IN の全てを一括更新することにより、最新情報を維持する。

5 実装

筆者らは、仲介エージェントを、JATLite[9]ベースのマルチエージェントシステムとして実装した。

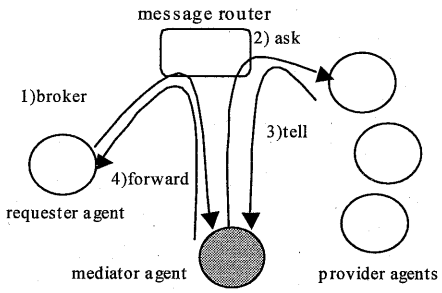


図8 JATLiteと仲介エージェント

JATLite はスタンフォード大学で開発された Java ベースのエージェントプラットフォームで、エージェント間のメッセージ交換を実現するメッセージルータと、KQML を話すエージェントを構築するためのテンプレートからなる。図8に示すように、全てのメッセージはメッセージルータを介して交換される。

図9は要求エージェント側の GUI を示す。画面左下の content 画面にて、仲介要求が記述されており、画面右下にて、サービス提供者から仲介エージェント経由で受信した答えが記述されている。

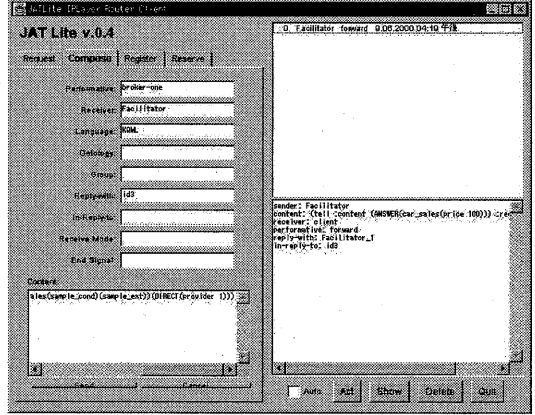


図9 GUI の例

6 応用への適用例

本章では、建設プロジェクトにおける supply chain coordination ネットワークにおける仲介エージェントの利用例を述べる。近年建設プロジェクトでは、ゼネラルコントラクタ (GC) が受注したタスクを、コスト効率化とリスク分散のため、分割してそれぞれをサブコントラクタで実行させている。ゼネラルコントラクタ自身はサブコントラクタ (SUB) をコーディネートする役割を担う。従って建設プロジェクトでの Supply chain coordination ネットワークはタスクやスケジュールの交渉が行われるためのネットワークとなり、多くのサブコントラクタ間の協調が必要となる。特に、互いに知らないエージェント同士での情報の共有やリスクや利益の共有が発生するため、仲介エージェントによる、私的信用情報を利用した仲介が有効となる。

建設プロジェクトでは、参加者の損失を軽減するためにネットワークの外部からパートナーを調達することが頻繁に起こるが、図10に示すように、仲介エージェントにより、潜在的なサブコントラクタから信用できるパートナーを探すことができる。また、信用情報の伝播機能により、個々の参加者が個別に持つ信用情報よりも多くの信用情報を用いて幅広いパートナーの選択が可能となる。

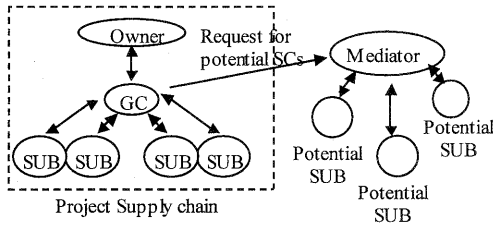


図 10 サプライチェーンネットワークとエージェント

	C1	C2	C3	C4	C5
SUB_A	V		V	V	V
SUB_B	V	V	V	V	V
SUB_C	V		V	V	V
SUB_D	V	V	V	V	V
SUB_E	V	V	V	V	V

Trust Table for C3						
GC	SA	SB	SC	SD	SE	
GC	DP	IP	IP	DP	UN	
SUB_A	DP	DP	UN	DP	UN	
SUB_B	IN	DN	DP	DN	DP	UN
SUB_C	IP	DP	IP	IP	DP	
SUB_D	DN	IP	IP	DP	UN	
SUB_E	UN	IP	UN	DP	UN	

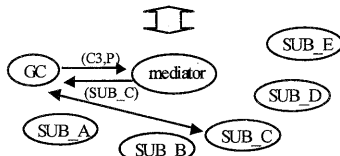


図 11 仲介エージェントと信用情報テーブルの例

例として、1つのGCがいて、5つのSUBがいる場合を考える(図 11 参照)。ここでは GC は自分の持っているタスクの一部 (C3) を、C3 の機能を持ち、信用できるいずれかのサブコントラクターに依頼したいとする。従って、GC は仲介エージェントへ、QUESTION(C3&POSITIVE)という要求を出して、適切なサブコントラクターのリストを要求する。仲介エージェントは機能テーブルを検査し、SUB_B、SUB_C、SUB_D、SUB_E の4つの機能 C3 を持つサブコントラクターを抽出する。続いて、これらのサブコントラクターの中から、C3 用の信用情報テーブルを検査し、GC が信用している (POSITIVE) SUB_B、SUB_C、SUB_D の3つのサブコントラクターを抽出する。続いて、SUB_B、SUB_C、SUB_D の GC に対する信用情報を検査し、SUB_B と SUB_D が GC と取引を望んでいないことを発見する。結果として、仲介エージェントは、ANSWER (SUB_C) を答えてとして GC に返し、GC は SUB_C と交渉を開始する。ここで重要なのは仲介プロセスの前に GC が直接信用しているのは SUB_A と SUB_D のみで、仲介エージェントのおかげで、GC がより多くの信用できる SUB を見つけることができる。

7 おわりに

本稿では、インターネット上の e-marketplace 等で利用されるエージェント群のための、機能と信用情報に基づく仲介エージェントを提案した。本稿では、間接的な信用情報の計算に直接的な信用情報のみを利用する手法

を提案した。これまでに信用情報の伝播については特に一貫性、妥当性、簡便性の観点から様々な議論が各所で行われており、今後、他の手法の適用性の検討を行っていく予定である。最後に、様々な助言を頂いたスタンフォード大学 Dr. Charles Petrie 氏、Keesoo Kim 氏、Roxanne zolin 氏、Martin Ekstorm 氏、NTT コムウェア 金友 大氏、ならびに日頃ご指導頂く(株)KDD 研究所秋葉所長、小花取締役様に感謝します。

参考文献

- [1] Better Business Bureau <http://www.bbb.org>
- [2] Cafferky M. Free Word-of-mouth Marketing Tips <http://www.geocities.com/WallStreet/6246/quote6.html>
- [3] Chavez A. and Maes P. Kasbah: An agent Marketplace for Buying and Selling Goods" Proceedings of (PAAM'96), London, April 1996
- [4] CORBA Specifications <http://www.corba.org>
- [5] Dun and Bradstreet <http://www.dnb.com>
- [6] EBay <http://www.ebay.com>
- [7] FIPA Specifications <http://www.fipa.org>
- [8] Jini Specifications <http://www.sun.com/jini/>
- [9] Jeon, H., Petrie, C., and Cutkosky, M. R. JATLite: A Java Agent Infrastructure with Message Routing. Internet Computing, March-April. 2000.
- [10] Manchala D. W. E-Commerce Trust Metrics and Models. IEEE Internet Computing, 4(2), 36-44, 2000
- [11] Labrou, Y., and Finin, T. A Proposal for a new KQML Specification, TR CS-97-03, Computer Science and Electrical Engineering Department, University of Maryland Baltimore County, Baltimore, MD 21250. 1997
- [12] Sycara K., Lu J., Klusch M., Widoff S. Matchmaking among Heterogeneous Agents on the Internet. in Proceedings AAAI Spring Symposium on Intelligent Agents in Cyberspace, Stanford, USA, 1999
- [13] Zacharia, G., Maes, P. Collaborative Reputation Mechanisms in Electronic Marketplace. in Proceedings of HICSS-32 (Hawaii HI, 1999).
- [14] Zolin, R., Fruchter R., Levitt R Building, Maintaining And Repairing Trust In Global AEC Teams. in Proceedings of ICCBE-VIII (Stanford CA, August 1999), ASCE, 874-881.