

モバイルエージェントに基づく P2P 検索への 意味レベル照合の実装手法に関する一考察

福田 直 樹^{†1}

P2P におけるファイル・データ検索技術では、より高精度な検索の実現に向けて、メタデータの意味レベル照合技術の導入が期待される。一方で、意味レベル照合には、事前のインデクシングを行いにくい、意味情報の基盤となるオントロジーの統一が難しい、メタデータ照合のための通信帯域利用量が大きくなりすぎるなど、解決すべき課題も多い。本論文では、これらの問題に対し、実際にモバイルエージェント技術を適用した際の利害得失を考察する。

A Preliminary Analysis about Mobile Agent-based Implementation for Semantic Matching Mechanism on P2P Retrieval

NAOKI FUKUTA^{†1}

There are strong demands on both flexible, high-precision search and protection of privacy at peer-to-peer data retrievals. Especially, it is demanded for searching semantically relevant files in P2P environment while the terms themselves used in such queries and annotations include some private information. I recently presented a preliminary work on P2P-based file sharing that enables us to use private ontologies for flexible concept-oriented semantic searches without loss of privacy in processing semantic matchings among private metadata of files and the requested semantic queries. The private ontologies are formed on a certain reference ontology with differential ontologies for personalization. It enables the users to manage and annotate their data with their own private ontologies. Reference ontologies are used to find out semantically appropriate files for the given queries that include semantic relations among existing files and the requested files. Mobile agent approach is applied for the purpose to realize less use of network bandwidth and ease of implementation. For the above, even a prototype system has been implemented on the MiLog mobile agent programming platform, there is little analysis about its performance. In this paper, I present a preliminary evaluation about the proposed approach and discuss further directions of its improvement.

1. はじめに

プロジェクトチームによるタスクの遂行では、情報の共有が重要な課題の 1 つである¹⁾。共有すべき情報には、共有すべきデータファイルのような低レベルのデータから、プロジェクトの目標や参加者の暗黙知まで非常に広い範囲に及ぶ。これまでに、組織内での情報共有・知識共有についての知見が様々に述べられてきている^{1)–4)}。これらのほとんどは、1 つの (ある程度) 固定的な組織内で、ある程度利害関係を共有する人たちの間での情報・知識共有を目指したものであるが、一方で、異なる組織に属する人たちの間での情報共有の問題が重要度を増しつつある^{5),6)}。このような問題へのアプローチの第一段階として、著者はデータファイルの共有問題を題材に、所属組織の異なる主体間での相互の柔軟で高精度な共有情報検索の実現方法について検討してきた⁷⁾。

データの共有方法の 1 つのアプローチに、P2P (Peer to peer) に基づく手法がある。P2P によるデータ共有では、共有すべきデータは個別のピアごとに管理され、それらが必要に応じて検索され共有されるモデルを土台としている⁸⁾。P2P では分散ハッシュ (DHT) などを用いてファイルを効率的に配置・検索する方法が研究されてきているが、データ内容の完全一致を前提としない柔軟なファイル検索には改善が必要であることが指摘されている⁹⁾。また、P2P に基づく技術では、利用者のプライバシーの確保も 1 つの重要な課題である^{8),9)}。

これらの問題に対し、著者は、個人ごとにパーソナライズされたプライベートなオントロジーに基づく柔軟で高精度なファイル検索を可能にすることを考え、その基本的なアイデアを、文献 7) で示している。ここでは、オントロジーに基づく相互検索時に、個々のオントロジーのプライベートな部分を相手に公開することなく検索を可能とするためのモバイルエージェントに基づく実装アプローチについて述べた。

モバイルエージェントは、ソフトウェアエージェントをネットワークで相互接続可能な複数のソフトウェア実行環境間で移動させながら、そのエージェントのタスクを実行させ続ける技術である。モバイルエージェントの実装技術についてはこれまでに様々な手法が研究されてきており、通信の効率化、プラットフォームの実装の容易性の向上、実装の小型化、およびセキュリティの確保など様々な技術が提案されてきた¹⁰⁾。文献 7) では、主に著者が

^{†1} 静岡大学
Sizuoka University

中心となって開発をこれまでに進めてきた、モバイルエージェント実装プラットフォーム *MiLog*¹¹⁾ による実装例を示した。

本論文では、文献 7) で示したアイデアが、具体的にシステムの性能（探索精度、実行時間、通信データ量など）にどのような影響を与えるかについて考察したい。

2. P2P とオントロジーに基づく検索

2.1 意味に基づく検索アプローチ

文書検索に関するアプローチでは、古典的な内容の索引付け (indexing) に基づく手法として、特定のキーワードを含む文書を列挙するアプローチがあり、Web 検索など多くの場面で利用されている。一方で、P2P で管理されるファイルの検索には、ファイル内容の事前の索引付けが難しい場合も多々ある¹²⁾。本論文では、P2P 環境におけるファイル検索を対象とするため、文書内容に対する大規模な索引付けを必要としない方法の 1 つとして、ファイルの持つメタデータを利用した意味情報に基づく検索方法について扱う。

意味に基づく検索では、検索対象について、そのファイル名やファイル内に含まれるキーワードの文字列ではなく、そのファイルと他のファイル・概念との間に関連づけられた関係に基づく検索を実現する。たとえば、あるファイルの作成に用いた、元になったデータを含むファイルのような、意味的關係性に基づくファイルの検索が、必要な関係をメタデータとして付与することにより可能となる^{13),14)}。さらに、それらは単にファイルの検索だけに留まらず、サービスの検索から自動的な結合にまで発展できる^{15),16)}。

P2P 環境でのファイル検索における検索粒度には、対象となるピア、ファイル群、ファイルの一部、およびファイルを構成する暗号化された断片などがある¹⁴⁾ が、これらすべてを本論文で扱うことは困難である。本論文では、文献 7) と同様に、検索対象を通常のオペレーティングシステム上で扱うことのできる特定のファイル群であると仮定して、以後の議論を進める。

2.2 オントロジー

オントロジーは、意味に基づく検索アプローチの実現手段の 1 つとして注目される。オントロジーとは、Gruber の定義¹⁷⁾ によれば、概念の明示化プロセスおよびそれにより明示化された概念そのものを指す。近年では、単純に概念を概念階層等の関係性により明示化したものであれば、比較的簡単な構造のものもオントロジーとして含める場合が多い。利用可能なオントロジーとしては、Swoogle により膨大な量の Web 上のオントロジーが参照可能となっており¹⁸⁾、上位オントロジーについても SUMO¹⁹⁾ や YATO²⁰⁾ などいくつか

のものが提案されている。また、古くから用いられる Wordnet での概念階層だけでなく、Wikipedia により自動生成された多くの個体 (individual) を含むオントロジーも利用可能になりつつある^{21),22)}。これらのオントロジーは、特定のビジネスについての概念および概念間の関係を定義するだけでなく、それらのビジネスプロセスを組み合わせるためにも利用される^{23),24)}。また、OWL²⁵⁾ など、オントロジーの記述方法に関する検討も成熟しつつある²⁶⁾。

本論文で扱うオントロジーは、最終的には、概念、概念間の階層関係、個体、個体間の関係 (プロパティ) により構成することを考える。この構成により、ほぼ OWL-DL における一般的なオントロジーと同程度の記述が可能となるが、本論文では OWL-DL でのプロパティ制約や推論については現時点では扱わないこととする。

2.3 個人化されたオントロジーの利用と課題

オントロジーとそれに基づく関係性の意味づけをファイルに適切に付与することによって、意味に基づく検索アプローチにより柔軟で高精度なファイルの検索が実現できることが期待される。一方で、それらのファイルが一次所有者個人により管理される場合、そのファイルに対する関係性の意味づけ、およびその元になるオントロジーそのものすら、その個人に対して強く依存したものになる可能性がある。

一方で、個人がファイルに対して関係性の意味づけに用いるオントロジーそのものにも、他者に公開したくない情報 (概念化のノウハウ、あるいは非公開の概念そのもの) が含まれる可能性がある。

たとえば、あるファイルがあるプロジェクトに関連づけられているとき、そのプロジェクトのオントロジー上での概念階層の上位に、「社外秘重要プロジェクト」という概念が来た場合、この事実は他のプロジェクトメンバに対して公開をしたくないということが生じるかもしれない。これらの、意味づけに用いるオントロジーがプライベートな (他者に公開したくない) 情報を含む場合でも、それらを他者に公開することなく意味に基づく検索アプローチが実現できれば、ファイルに対する複雑な管理ポリシーを気にせずに、必要なファイルを適切に共有できるようになることが期待できる。

一方で、必要な情報を適切に保護するための枠組みを実現し、かつそれらを効率よく動作させるための実装技術も必要となる。これらのアイデアとして、我々は文献 7) でその実装アーキテクチャの基本的な形を示した。しかしながら、文献 7) で示された実装が具体的にどの程度の効果を上げるかについての詳細な評価や解析は、文献 7) では示されていない。

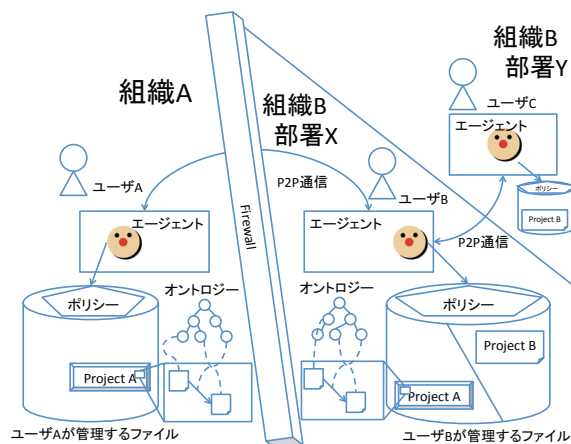


図1 試作システムの概要

3. 試作システム

3.1 システムの概要

我々は、前節までに述べたコンセプトの実現方法について検討するために、試作システムを構築している⁷⁾。ここでは、本システムの概要について、簡潔にまとめる。

本試作システムの概要を1に示す。

本システムは、プロジェクトメンバー間でP2Pに基づくファイル共有を実現する。ピアは各プロジェクトメンバーごとに用意され、共有されるファイルの公開ポリシーは、各ピアに実装されたエージェントが管理する。すなわち、各ピアは個々のプロジェクトメンバーのポリシーに従ってファイルを格納・管理することができるようになっている。

本システムでは、各ファイルやファイル間に関係を定義することができるようになっている。たとえば、あるファイルに「古いファイルである」という関係を定義することで、誤って古い情報を共有してしまうことを未然に防いだり、別のファイルとの関係性として、たとえば「あるファイルとそのもとになった図を格納したファイルの関係」を定義することで、図の元ファイルを容易に探し出すことが可能となる。

3.2 アノテーションとオントロジー

本論文で扱うアノテーションでは、あるファイル、あるいはフォルダに属するファイル集合に対して、それに対応する概念を指定することで明示的にフォルダに属性に付与することができる。

一方で、ファイルの関係性を定義するオントロジーは、各ピアごとに管理される。そこで、オントロジー内の概念同士を相互に関連づけるために、基準オントロジーを準備する。ただし、この基準オントロジー自体が単一である必要はなく、複数用意されていてもよい。少なくとも、各プライベートオントロジーは必ず最低1つの他の基準オントロジーとの関係づけが行われているものとする。この基準オントロジーを踏み台にして、相互のプライベートオントロジーそのものを検索時に公開することなく、意味に基づく検索を実現しようというアイデアである。

各ピアのオントロジーは、この考え方に従い、最低1つの基準オントロジーとそれに対する差分から構成される。すなわち、差分オントロジーと基準オントロジーから各ピアのオントロジーが復元可能となる。各ピアのエージェントは、情報の検索時にこのオントロジーの差分を用いる。この手法には別の利点として、巨大なオントロジー全体をエージェントに持たせる必要がない点がある。Wordnetなど、オントロジーは膨大な数の概念を含む場合が多くあるが、実際に検索の場面で必要とするオントロジーはその一部分であり、なおかつ、ここで必要となるのは、それらの中で特に基準オントロジーと異なる部分(差分)である。

3.3 ファイル検索と転送

ピア間でのファイルの検索は、次のような手順で行われる。

最初に、ファイルを探したいピアのエージェントが、オントロジーの差分を保持して検索対象となるファイルを持っていそうなピアへ移動する。ここで、検索対象となるピアからは、各ファイルに対する関係づけについて、基準オントロジーに基づいた関係を(許可された範囲で)取得することができる。

移動した検索エージェントは、検索対象となるファイルへの関係づけを基準オントロジーと手元の差分を組み合わせて元のピアの持つオントロジーに基づく意味情報に復元し、検索対象となるファイルの候補を見つけ出す。

見つけ出されたファイルは、必要に応じてピア間での承認プロセスを経た後、適切な権限を設定したうえでファイルを探していたピアに移される。たとえば、あるピアから取得したファイルが別のピアへの公開を禁止するものであれば、取得したファイルに対しても自動的にそのような属性がエージェントによって付与される。

4. 評価

4.1 プライベートオントロジー適用の効果

本論文で考察すべき点には、プライベートオントロジー利用の効果、およびそれに対するモバイルエージェントの活用効果の2つの点がある。

まず、本論文では、プライベートオントロジー利用の効果について、予備的な実験評価を行った。評価の条件および手順は次の通りである。

まず、本評価では、探索側および被探索側の2つのピア間でのファイル検索に限定し、その間におけるプライベートオントロジー利用による検索結果の変化をみることにする。

対象となる2つのピアは、それぞれのプライベートオントロジーを持ち、それらは基準オントロジーとの間の差分で表すことができるとする。この条件を反映するために、ここではランダムに生成したオントロジーを基準オントロジーとする。基準オントロジーは、木構造の概念階層のみから構成されるものとし、木構造の1節点あたりの子ノード数 n_c 、および木の深さ n_d を、それぞれ、 $n_c \in \{2, 5, 10\}$ および $n_d \in \{3, 4, 5, 6, 10, 13, 16\}$ のそれぞれの組合せに対して準備する。なお、このパラメータでは、 $\{n_c, n_d\}$ の値が $\{2, 13\}$, $\{10, 4\}$, $\{5, 6\}$ のときに、SUMO オントロジーとほぼ同等の大きさ (概念数) となり、 $\{2, 16\}$, $\{10, 5\}$, $\{5, 7\}$ のときに、Wordnet の概念階層とほぼ同等の大きさ (概念数) となる。

ここで用意した基準オントロジーに対して、edit オペレータを用いて探索側のプライベートオントロジーを構築する。ここで用いる edit オペレータは、概念階層内の is-a 関係の入れ替え (上書き) オペレータのみとしている。edit オペレータの適用数 n_e は、 $n_e \in \{3, 5, 10\}$ とした。

次に、被探索側に置かれる検索対象となる仮想ファイル (実体は持たない) のメタデータを用意する。検索の対象となる仮想ファイルを n_f 個用意し、各検索対象仮想ファイルごとに、その内容を表すものとしてメタデータとしてタグを付与する。タグは基準オントロジーに出現するオントロジーからランダムに最大で n_t 個選択される。なお、今回の評価では、 $n_f = 10$, $n_t \in \{1, 2, 3, 4\}$ とした。

各探索試行ごとに、正解となる検索対象ファイルを1つ選び、先に用意した探索側プライベートオントロジーに基づいて、メタデータを変成し、それを問い合わせとする。メタデータの変成では、その概念の1つ上位の階層の概念への変成、その概念の1つ下位の階層の概念への変成、その概念の兄弟概念への変成、および変成を行わない場合の4つを、各タグごとにランダムに選択して1度だけ適用する。

なお、被探索側のプライベートオントロジーについても存在するが、探索側に開示される際にはすべてのメタデータは基準オントロジーに基づく提示となることと、探索対象のメタデータとしてのタグ付与も基準オントロジーからのランダム選択であるため、本評価の結果には特に影響しないと考えられることから、ここではその記述を省略する。

探索時には、探索対象となる仮想ファイルに対するメタデータと、問い合わせのメタデータとの概念間距離による適合度スコアを、次の式により計算する。

$$\frac{\sum_{qc_i \in Q} \max_{vc_j \in V} \text{sim}(qc_i, vc_j)}{|Q|}$$

ただし、 $qc_i \in Q$ は問い合わせのメタデータの各タグに対応する概念、 $vc_j \in V$ は探索対象となる仮想ファイルのメタデータの各タグに対応する概念、 $|Q|$ は問い合わせのメタデータとして付与されたメタタグ数を示す。概念間の類似度 $\text{sim}(c_1, c_2)$ については、多くの選択肢が考えられるが、ここでは簡単のため、概念 c_1 に対して c_2 が上位または下位概念であるときに、その深さの差 i に対して、対応する γ_i を $\gamma_0 = 1, \gamma_1 = 0.75, \gamma_2 = 0.10, \gamma_j = 0 \text{ s.t. } i > 2$ とした*1。この際に、概念の上位下位関係を求める部分で、プライベートオントロジーを用いた場合と、基準オントロジーを用いた場合とを双方計算しておく。

探索結果は、適合度スコアの降順に文書を順位付けする。ここで、正解であった文書の順位が、プライベートオントロジーを用いた場合と基準オントロジーを用いた場合でどのように変化するかを比較し、プライベートオントロジー適用の効果を見る。これを、同一の条件下ごとに30回試行した。

表1に、プライベートオントロジーの使用により適合度スコアによる順位付けに相違が生じた事例を示す。今回の事例では、表1に示される事例では、いずれもプライベートオントロジー使用時に大きく順位が向上した。今回は、文書に付与するメタデータとして選択される概念を全体からランダムにまんべんなく選択したため、概念階層が大きい場合には、プライベートオントロジーとの差分がない部分が多く選ばれることとなり、その結果として、他の事例では結果順位が同一となり、差が見られなかった。実験条件にはまだ再考の余地が大きくあるが、実際には、差分の大きな場所ほどファイルが偏りがちになるような場合も考えられ、そうした場面ではプライベートオントロジーが効果を発揮する可能性はあると考え

*1 概念間の類似度の計算方法には多数の方法が提案されているが、本評価ではプライベートオントロジーの有無に対する有効性の違いを見ることが目的であり、類似度の計算法の違いによる本結果の影響は軽微であると考えられるため、比較的良好に用いられると思われるヒューリスティクスによる計算のなかで、経験的にもっとも計算が簡易となるものを選択している。

表 1 プライベートオントロジーの有無による対象文書順位の差異

$-n_d-n_c-n_e-n_t$	プライベートオントロジー使用	同未使用
-10-2-5-2	1st	9th
-3-10-5-1	1st	6th
-3-10-5-2	1st	5th

ている。

4.2 モバイルエージェントの適用によるオーバーヘッド

モバイルエージェントを用いて、対象文書の保管先のピア上で探索を行い、結果を持ち帰った場合、直接的に文書を管理しているエージェントに問い合わせを行い結果のみを受け取る場合と比較して、エージェントが対象ピアとの間を行き来する分のオーバーヘッドが生じる。そこで、モバイルエージェントを用いた場合に、どの程度の通信データ量および実行時間のオーバーヘッドが生じるかを、次の手順で確かめた。なお、ここで比較に用いたコードは試作中のシステムのものを用いており、必ずしも十分な速度面での調整がなされたものではない。

実験条件については、節 4.1 にほぼ準ずる。ただし、実際の利用状況に近づけるために、 n_f の値は、 $n_f \in \{100, 1000\}$ とし、 $n_c = 5$ とした。計測に用いたコンピュータは、MacOSX 10.6.4、メモリ 8GB、3.06GHz の CPU を持つラップトップ型コンピュータである。このコンピュータ上に 2 つのピアを動作させ、それぞれにヒープメモリを 256MBytes ずつ割り当てて実行させている。

表 2 に、100 回繰り返し動作させた際の問い合わせあたりの平均経過時間を示す^{*1}。ここでの直接問い合わせとは、基準オントロジーのみを用いて、被探索側エージェント内で対象文書検索を行うよう遠隔問い合わせを実行した場合を示す。すなわち、直接問い合わせ時に得られる結果は、モバイルエージェント使用時に得られる結果とは必ずしも一致せず、プライベートオントロジーの利用による効果も得られないものである。

対象文書数 $n_f = 100$ のときは、直接問い合わせ時と比較して 50msec ほど実行時間が多くかかっている。 $n_f = 1000$ のときには、直接問い合わせ時と比較して 160msec ほど実行時間が多くかかっているが、その実行時間全体に占める割合は 10 パーセントを下回っている。

*1 この計測では、正確を期すために、実際の実装時には必要な結果の整形や照合高速化のための一部の前処理・後処理にかかる時間は除外している。

表 2 プライベートオントロジーの有無による対象文書順位の差異

	$n_f = 100$	$n_f = 1000$
モバイルエージェント使用時 [msec]	264.15	1976.57
直接問い合わせ時 [msec]	211.42	1816.28

モバイルエージェントの移動にかかるデータ転送量は、 $n_f = 100$ のとき、平均で 5.3kbytes(行き) および 8.6kbytes(帰り) であった。また、 $n_f = 1000$ のときは、平均で 5.3kbytes(行き) および 29kbytes(帰り) であった。

以上の結果から、モバイルエージェントを使用してプライベートオントロジーに基づく検索を行う場合に、実行時間や通信帯域利用上の若干のオーバーヘッドが確かに生じる。しかしながら、今後も継続して検討する余地があるものの、著者が想定しているような場面では、それらは十分に許容できる範囲に収まっていると考えられる。

5. おわりに

本論文では、個々のピアが独自にオントロジーを差分で保持することによる、P2P でのファイル共有システム上での柔軟なファイル検索の実現について、特に実装方式が性能に与える影響について検討した。示した実験条件からはその出現ケースはわずかであったが、独自にオントロジーを保持することの利点が存在することが、特定のシナリオ上で確認できた。また、モバイルエージェントによる実装を行った際のオーバーヘッドについて予備的な調査を行い、それが深刻な問題とはならない範囲には収まることが確認できた。

本論文で示した結果は、*MiLog* という特定のモバイルエージェントプラットフォーム上での試作システムにおけるものであり、これが他のモバイルエージェントプラットフォーム上で実装した場合にどのような結果になるかは、検討の余地がある。本試作システムを用いた具体的な事例への適用を通じた、より現実的な環境下での評価を進めること、および、複雑で高精度な意味情報検索を可能とするための、効果的な半自動アノテーション方法についての検討が、今後の課題となる。

参考文献

- 1) Malone, T. W., Grant, K. R., Turbak, F. A., Brobst, S. A. and Cohen, M. D.: Intelligent information-sharing systems, *Commun. ACM*, Vol.30, No.5, pp.390-402 (1987).

- 2) e Maqsood, M. and Javed, T.: Practicum in software project management: an endeavor to effective and pragmatic software project management education, *Proceedings of the 6th joint meeting of the European software engineering conference and the ACM SIGSOFT symposium on The foundations of software engineering(ESEC-FSE2007)*, pp.471–480 (2007).
- 3) Fox, T.L. and Spence, J.W.: The effect of decision style on the use of a project management tool: an empirical laboratory study, *SIGMIS Database*, Vol.36, No.2, pp.28–42 (2005).
- 4) Grudin, J.: Why CSCW applications fail: problems in the design and evaluation of organizational interfaces, *CSCW '88: Proceedings of the 1988 ACM conference on Computer-supported cooperative work*, pp.85–93 (1988).
- 5) Wang, X., Zhang, L., Xie, T., Anvik, J. and Sun, J.: An approach to detecting duplicate bug reports using natural language and execution information, *Proc. the 30th international conference on Software engineering(ICSE2008)*, pp.461–470 (2008).
- 6) Yu, L. and Ramaswamy, S.: Mining CVS Repositories to Understand Open-Source Project Developer Roles, *Proc. of the Fourth International Workshop on Mining Software Repositories(MSR2007)*, p.8 (2007).
- 7) Fukuta, N.: A Mobile Agent Approach for Flexible Peer-to-Peer File Retrieval, *Proc. of IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science(ICIS2010)*, pp.599–604 (2010).
- 8) Cudré-Mauroux, P., Budura, A., Hauswirth, M. and Aberer, K.: PicShark: mitigating metadata scarcity through large-scale P2P collaboration, *The VLDB Journal*, Vol.17, No.6, pp.1371–1384 (2008).
- 9) Karnstedt, M., Sattler, K.-U., Hauswirth, M. and Schmidt, R.: A DHT-based infrastructure for ad-hoc integration and querying of semantic data, *Proc. the 2008 international symposium on Database engineering & applications(IDEAS '08)*, pp. 19–28 (2008).
- 10) 新谷虎松, 大園忠親, 福田直樹: モバイルエージェントの応用 – マルチエージェントシステムのためのモビリティの利用, *人工知能学会誌*, Vol.16, No.4, pp.488–493 (2001).
- 11) Fukuta, N., Ito, T. and Shintani, T.: A Logic-based Framework for Mobile Intelligent Information Agents, *Poster Proc. of the Tenth International World Wide Web Conference(WWW10)*, pp.58–59 (2001).
- 12) Moulin, C. and Lai, C.: Issues in Semantic File Sharing, *Advances in Intelligent Web Mastering* (Wegrzyn-Wolska, K.M. and Szczepaniak, P.S., eds.), Vol.43, Springer, pp.242–247 (2007).
- 13) Siebert, M., Smits, P., Sauermaann, L. and Dangel, A.: Increasing Search Quality with the Semantic Desktop in Proposal Development, *Proc. International Conference on Practical Aspects on Knowledge Management (PAKM2006)*, pp.279–290 (2006).
- 14) Tran, N., Beydoun, G. and Low, G.: Design of a Peer-to-Peer Information Sharing MAS Using MOBMAS (Ontology-Centric Agent Oriented Methodology), *Advances in Information Systems Development* (Magyar, G., Knapp, G., Wojtkowski, W., Wojtkowski, W.G. and Zupancic, J., eds.), Vol.2, Springer, pp.63–76 (2007).
- 15) Berners-Lee, T., Hendler, J. and Lassila, O.: The Semantic Web, *Scientific American*, pp.35–43 (2001).
- 16) 和泉憲明, 橋田浩一: 軽量オントロジーに基づくコンテンツ駆動型プラットフォーム, *人工知能学会セマンティックウェブとオントロジー研究会*, pp.SIG-SWO-A603-09 (2006).
- 17) Gruber, T.R.: A translation approach to portable ontologies, *Knowledge Acquisition*, Vol.5, No.2, pp.199–220 (1993).
- 18) : Swoogle, <http://swoogle.umbc.edu/>.
- 19) Niles, I. and Pease, A.: Towards a Standard Upper Ontology, *Proc. the 2nd International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS-2001)* (2001).
- 20) Mizoguchi, R.: Yet Another Top-level Ontology: YATO, *Proc. of the Second Interdisciplinary Ontology Meeting*, pp.91–101 (2000).
- 21) Auer, S., Bizer, C., Lehmann, J., Kobilarov, G., Cyganiak, R. and Ives, Z.: DBpedia: A Nucleus for a Web of Open Data, *Proc. 6th International Semantic Web Conference and 2nd Asian Semantic Web Conference(ISWC2007 + ASWC2007)*, pp.722–735 (2007).
- 22) 桜井慎弥, 手島拓也, 石川雅之, 森田武史, 和泉憲明, 山口高平: 汎用オントロジー構築における日本語 Wikipedia の適用可能性, *人工知能学会第 18 回セマンティック Web とオントロジー研究会* (2008).
- 23) de Bruijn, J., Fensel, D., Keller, U. and Lara, R.: Using the web service modeling ontology to enable semantic e-business, *Commun. ACM*, Vol.48, No.12, pp.43–47 (2005).
- 24) Haller, A., Oren, E. and Kotinurmi, P.: An ontology for internal and external business processes, *Proc. the 15th international conference on World Wide Web(WWW2006)*, pp.1055–1056 (2006).
- 25) : OWL Web Ontology Language –Reference–, W3C Recommendation 10 February 2004 <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>.
- 26) 山口高平, 福田直樹, 小出誠二: Web オントロジー記述言語 OWL とその記述能力, *コンピュータソフトウェア*, Vol.22, No.4, pp.12–18 (2005).