

インターネット上での新しい情報共有技術

北村泰彦*

1. はじめに

いまやインターネットは現代社会の中に急速に浸透しており、われわれの日常生活を支えるインフラストラクチャの一つとなってきている¹⁾。インターネットが提供するサービスの中でも利用者間での情報共有を実現するWWW(World Wide Web)は最も人気の高いものであり、巷では「インターネット=WWW」として認識される様相すらある。WWWがこれほどまで多くの利用者を獲得した原因としては、以下のものがあげられる。

- 世界中に分散して存在する様々な情報源がURL(Universal Resource Locator)の指定により統一的にアクセス可能となる。
- 情報提供者はHTML(Hyper Text Markup Language)により記述されたWWWページをサーバ上に作成することで全世界に向けて容易に情報発信を行なうことが可能である。WWWページにはテキストだけでなく、画像、音声、動画などを埋め込むことができ、そのレイアウトの自由度も高い。またハイパーリンクにより分散して存在するページを相互に関連付けることができる。
- WWWページはブラウザ(browser)を介して閲覧することができるが、マウスのみでほとんどの操作を行なうことができ、計算機の初心者であっても容易に使いこなすことができる。

ネットワーク上で情報共有あるいは情報処理を行なうことはそれほど目新しいことではないが、WWWによる情報共有が従来のそれと大きく異なっている点は、不特定多数の利用者を前提としている点であろう。例えば、従来のLAN上での情報共有は、組織内においてあらかじめ登録された利用者だけがアクセスすることが許された。銀行オンラインサービスにしても端末はだれからも利用できる場所に置かれているが、実際に利用できるのはあらかじめ登録されたキャッシュカードをもっている顧客だけ

である。鉄道や航空機の座席予約システムは不特定多数の顧客を対象とはしているが、その操作は特別に資格を持つオペレータに限られていた。それに対してWWW上での情報共有はインターネットに接続された端末やサーバが利用可能であれば、即時に世界中の情報源をアクセスしたり、世界に向けた情報発信を行なうことができるのである。このような特徴はビジネスネットワーク、研究者ネットワーク、社会共同体ネットワークなど、21世紀における地球規模でのさまざまなネットワークアプリケーションを生み出す源となることが期待される。

このようにWWWは不特定多数の利用者からなる「開かれたネットワーク」を前提とした技術であるといえるが、その一方で、多くの課題を同時に抱えることになる。WWW技術の問題点をまとめると以下のようになる。

- (1) 自律分散サーバ: 情報は複数のサーバに分散して存在しており、それぞれ個別に維持管理されている。したがって統一的管理を行なったり、利用者にとって統一視点を与えることは困難である。
- (2) 大量の情報: アクセス可能な情報量は膨大であり、利用者が必要な情報のみを検索することは容易でない。
- (3) あいまい・不統一な情報構造: 提供される情報に統一した構造がないので、機械的な情報処理が困難である。また提供されている情報が冗長であったり、誤りが含まれていたりすることもある。
- (4) 動的な情報源: 情報が頻繁に更新されるサーバがあるが、利用者はその変更気づかない場合がある。

以上のような問題点のゆえに、利用者が自ら必要としている情報を適切に検索することすら困難を覚えることが多い。また分散している関連情報をまとめあげたり、更新された情報をタイムリーに入手するにも多くの困難が伴うのが現状である。このような問題点に対して、分散データベースをはじめとする旧来の分散処理技術は十分に対応することができない。なぜならこれらの技術は、たとえ情報が複数のサーバに分散して存在していたとしても、仮想的には集中的な管理手法を適用することが可能であるという「閉じたネットワーク」を前提としてい

*大阪市立大学 工学部

Key Words: Internet, WWW, information integration



第1図 知的情報統合(I³)技術による情報共有

るからである。

そこで本解説では「開かれたネットワーク」を前提とした新しい情報共有技術について紹介をおこなう。そしてこれらの技術の総称としてインターネット上での知的情報統合(Intelligent Information Integration: I³)技術と呼ぶことにする。

2. 知的情報統合技術の分類

知的情報統合技術は第1図にも示すように、WWW技術をベースとし、情報提供者(information provider)と情報利用者(information user)間での情報共有の促進、改善、効率化を行なう技術である。

I³技術は大きく以下の三つの分野に分類することができる²⁾。

- 情報収集: 情報利用者のWWW情報源アクセスを支援する。情報利用者が必要とする情報を含むWWWページのURLを提供したり、その数が多量である場合はフィルタリングを行なう。これは前節で述べた課題の(1),(2)への対処である。
- 情報組織化: WWW情報源から提供される情報を組織化し、その付加価値を高める。これは前節で述べた課題(3)への対処である。
- 情報流通: 情報提供者と情報利用者間の情報の流れを改善、促進する。これは前節で述べた課題(4)への対処である。

本解説では以下、それぞれの分野における最近の研究開発事例を紹介する。

3. 情報収集

WWW情報源はインターネット上に分散しており、それぞれのサーバ上で個別に情報提供者により管理されている。利用者はURLによりWWWページを最小要素としたアクセスが可能であるが、それを知らなければアクセスすることは難しい。これはWWWページを電話、URLを電話番号と見立てれば電話網と良く似ている。しかし

電話網の場合は電話会社が電話の設置や、番号も集中的に管理しているのに対し、WWWシステムでは情報提供者が勝手にページを増やしたり、登録ドメイン名以下は任意の名前をつけることができるという点が異なっている。したがってWWWシステムには電話帳のような統一されたディレクトリ情報が存在しないので、利用者が必要な情報を探し出すためには多くの困難が伴うことになる。

3.1 検索エンジン

この問題に対処した代表的なサービスが検索エンジン(search engine)である。検索エンジンはYahoo![†]に代表されるインデックス系とAltaVista^{††}やgoo^{†††}に代表されるロボット系の二種類に大きく分類される。インデックス系検索エンジンは人手によるWWWページの閲覧や情報提供者からの要望に応じて、何らかのシソーラスに従ってディレクトリを構成するものである。ロボット系検索エンジンはソフトウェアロボットによりWWWページを自動的に収集することで、ディレクトリを構成するものである。これらの二つの方式にはそれぞれ長所短所がある。インデックス系ではシソーラスに応じて分類がされているので必要な情報を検索することが容易であるが、情報収集は人手によっているためその情報は少ないという短所がある。ロボット系では大量の情報が利用可能である一方で、分類は不十分であるという短所がある。ロボット系検索エンジンにおける情報検索の手段としてはキーワード検索が主流であるが、キーワードのミスマッチを起こすことが多い。例えば、“buffalo”というキーワードで検索した場合、検索エンジンにはそれが動物を指すのか、地名を指すのかが区別できないという問題がある。またロボット系検索エンジンでは格納されている情報が大量であるので、必要以上の検索結果が返されるという問題がある。例えば先述のgooで“buffalo”を用いて検索すれば9866個ものURLが返され(1998年5月25日現在)、それらを全て確認することは実質的に不可能である。

3.2 メタ検索エンジン

以上のような検索エンジンの問題点に対処しようとする試みの一つにメタ検索エンジン(meta search engine)がある。メタ検索エンジンは既存の検索エンジンに対して並行に検索を行ない、その結果を統合して、検索結果の質を向上させようとするものである。代表的なメタ検索エンジンにはMetaCrawler^{††††}があり、Lycos、Infoseek、WebCrawler、Excite、AltaVista、Yahooなどの汎用検索

[†]<http://www.yahoo.com/>

^{††}<http://www.altavista.digital.com/>

^{†††}<http://www.goo.ne.jp/>

^{††††}<http://www.metacrawler.com/>

エンジンを利用している³⁾。しかしながらMetaCrawlerでは一つの検索要求に対して多数の検索エンジンを並行して動作させるために多くの計算資源や通信資源を浪費してしまうという問題も生じる。そこでSavvySearch[†]では検索キーワードの種類や資源の状況に応じて動的に利用する検索エンジンの組み合わせを変化させるような並列検索戦略を取っている⁴⁾。この場合、キーワード q に対する検索エンジン s のランク付けをするためにまず以下に示すメタインデックス $Q_{q,s}$ を計算している。

$$Q_{q,s} = \sum_{t \in q} M_{t,s} \times I_t / \sqrt{T_s}$$

$M_{t,s}$ は検索エンジン s に関する単語 t のメタインデックス重みで、検索エンジンが結果を返さなければ-1点、返した結果に対して利用者が n 個のリンクをたどれば n 点付加される。 I_t は単語 t の出現頻度の逆数で頻出語を排除する役割を果たしている。また T_s は検索エンジン s のすべてのメタインデックスの絶対値の和であり、汎用エンジンより専門エンジンを重視する役割を果たしている。さらに動的に変化するネットワークの負荷や検索エンジンの状況を考慮して最終的なランクは

$$R_{q,s} = Q_{q,s} - (P_{s,h} + P_{s,r})$$

で与えられる。ここで $P_{s,h}$ と $P_{s,r}$ は検索エンジン s のヒット率と通信遅延に関するペナルティで検索エンジンがアクセス不能になったり、通信遅延が大きくなるとそのペナルティも大きくなる。このようなランク付けをもとに、SavvySearchでは利用する検索エンジンの数と組み合わせを動的に決定している。

3.3 専門検索エンジン

検索エンジンを高度化させるもう一つの方法はその専門化である。Ahoy!^{††}は複数の情報源と利用者からの入力情報をもとに個人のホームページを探し出す専用検索エンジンである⁵⁾。Ahoy!が利用する情報源には汎用検索エンジン(前述のMetaCrawler)、電子メールアドレスデータベースなどを用い、利用者は探したい個人の名前、組織、メールアドレス、国名などを入力する。Ahoy!は基礎となるデータとしては検索エンジンの結果を用い、大量の出力結果を組織の名前やメールアドレスを手がかりにふるいにかけるというdynamic reference siftingという手法を用いている。例えば、探したい個人のメールアドレスがkitamura@info.eng.osaka-cu.ac.jpであったとしよう。このとき検索エンジンから得られる多量のURLの中でドメイン名にinfo.eng.osaka-cu.ac.jpを含むものを選択し、そ

こからさらに絞り込みをかければ良いことが分かる。このほかWWWページのタイトルや内容をもとに個人ホームページかどうかの絞り込みを行なっている。このような手法は個人ホームページに特化したヒューリスティックを多く用いているので他の用途に直接利用することはできないが、既存の汎用検索エンジンに比較して情報発見の正確さ(誤った結果を返さない性能)や再現性(存在するならば結果に含まれる性能)に優っている。

3.4 ブラウジング支援

WWWにおける情報検索の方法としては検索エンジンなどの助けをかりて直接URLを指定して目的とするWWWページに至る方法と、あるWWWページから始めているいるなハイパーリンクを辿りながら目的とするWWWページに至る方法がある。前者は利用者が情報検索に関してははっきりとした目的をもつ場合であり、後者は利用者が漠然とした目標しか持たない場合に取られる方法である。

後者における利用者支援としては、利用者が指定した興味を示すキーワードと過去のブラウジング履歴をもとに、ブラウジングをナビゲートするWebWatcherがあげられる⁶⁾。WebWatcherでは利用者の興味とリンクを関連付けるために以下のような目標関数を用いている。

$$\text{LinkQuality} : \text{Page} \times \text{Interest} \times \text{Link} \rightarrow [0,1]$$

ここでPageは現在ブラウジング中のページ、Interestは利用者の興味、Linkは推薦の候補となるリンクであり、それぞれ単語ベクトルとして表現され、TFIDFヒューリスティックで重み付けされた内積を取るにより評価される。そして評価の高いリンクはWWWページ上にハイライトされたり、動的に付加されたりする。

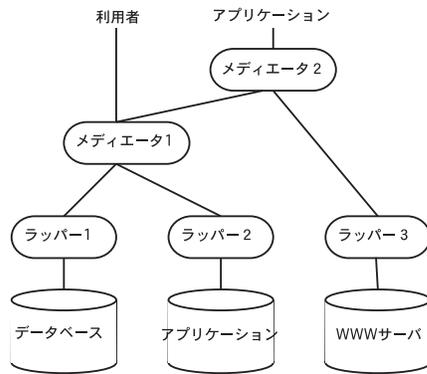
さてWebWatcherではこの目標関数を学習するためにブラウジング履歴を用いている。すなわち、ブラウジングにおいてある利用者がリンクを選択するとその利用者の興味キーワードが注釈としてそのリンクの単語ベクトルに付加される。この手法によりリンク推薦の性能が向上することが示されている。また単純なリンクの推薦だけでなく、強化学習の手法を用いて適切なWWWページのナビゲーションも支援している。

4. 情報組織化

インターネット上に分散して存在するWWWサーバ上には有用な情報を提供しているものが数多く存在する。これらのサーバは個別に運用されているけれども、相互運用が可能になれば、多くの付加価値を生み出すことが期待される。例えば、鉄道会社、航空会社、ホテルなどのWWWサーバを組み合わせることができれば旅行の計画

[†]<http://guaraldi.cs.colostate.edu:2000/form>

^{††}<http://ahoy.cs.washington.edu:6060/>



第2図 Tsimmisアーキテクチャ

や予約などを一元的に行なうことが可能になるであろう。本節では、インターネット上に存在するさまざまな情報源を統合し、統一的な視点を与えたり、相互運用を可能にする情報組織化を支援するための試みを紹介しよう。

4.1 異種データ統合

米国Stanford大学のTsimmisプロジェクトはデータベースに限らずネットワーク上に分散している様々な異種情報源を柔軟に統合することを目的としている⁷⁾。このプロジェクトの特徴は従来の分散データベースでとられたように情報源のレベルで統合するのではなく、それぞれの自立的情報源の出力結果をメディエータ (mediator) とよばれるモジュールにより統合する点である。

Tsimmisアーキテクチャを第2図に示す。データベース、アプリケーションソフトウェア、WWWサーバなどの異種情報源はラッパー (wrapper) によって情報源固有のインタフェースから共通情報モデルへと変換される。Tsimmisプロジェクトではこの共通情報モデルとしてOEM (Object Exchange Model) が用いられている。OEMではデータオブジェクトの入れ子を許すとともにデータの意味を表すラベルがつけられている。例えば文献リストは第3図のように表現される。

この例に示されるようにOEMではデータの構造 (著者) や型 (価格) が情報源ごとに異なっても統一的に扱うことができる。またメディエータはOEMデータを変換したり、組み合わせたりすることでアプリケーションや利用者が望むビューを提供する働きを持っている。

以上のような異種情報源を統合する手法としてはTsimmisプロジェクトのようなデータベースからのアプ

ロチだけでなく、CORBA⁸⁾ やHORB[†]などの分散オブジェクトからのアプローチや連邦アーキテクチャのようなマルチエージェントシステム⁹⁾からのアプローチもある。

図書1 : <図書, set, {著者1, タイトル1, 価格1}>

著者1 : <著者, set, {著者11, 著者12}>

著者11 : <著者名, str, "Ullman">

著者12 : <著者名, str, "Widom">

タイトル1 : <タイトル, str, "Databases">

価格1 : <価格\$, float, 58.00>

図書2 : <図書, set, {著者2, タイトル2, 価格2}>

著者2 : <著者, str, "増永">

タイトル2 : <タイトル, str, "データベース">

価格2 : <価格¥, int, 2400>

第3図 OEMでの記述例

ローチだけでなく、CORBA⁸⁾ やHORB[†]などの分散オブジェクトからのアプローチや連邦アーキテクチャのようなマルチエージェントシステム⁹⁾からのアプローチもある。

4.2 WWWデータからの情報抽出

前節では異種情報源を統合するデータベースからのアプローチを述べたが、このような情報組織化においてWWWサーバも有用な情報源の一つである。しかしながらWWWページを記述するHTML (Hyper Text Markup Language) では視覚的な構造を記述することは可能であるが、データの意味や意味的な構造を表すことはできない。したがって前節で述べたラッパーにあたるものとしてWWWページから統合可能な構造情報を抽出する技術が必要になる。

HsuとYihはテンプレートを用いてWWW情報源からオブジェクト構造を抽出する研究を行っており、情報抽出の例としてインターネット上にあるFAQ文書 (ソフトウェアやハードウェアの利用法に関する問答集) を扱っている¹⁰⁾。FAQ文書は一般的には以下のような構造を持っている。

- タイトルは<TITLE>タグで定義される。
- 目次はQ&A本体に含まれる全質問のリストである。リストはあるいはでタグ付けされ、各要素はでタグ付けされる。該当するQ&Aにはハイパーリンクタグでタグ付けされる。
- Q&A本体は質問と回答対の集合から構成される。各要素はでタグ付けされている。

以上の構造は第4図に示されるテンプレートとして表現される。

† <http://www.horb.org/>

```

Standard_TFAQ
...
title
  <TITLE>
  TERM_faq_title
</TITLE>
...
toc
  index_indicator
  TERM_TOC_indicator
  index_body
  (ordered_list
  <OL>
  list_item*
  </OL>
  | (unordered_list
  <UL>
  list_item*
  </UL>)
  ...
q_a_pairs
  (question_answer_paragraph)*

list_item
  <LI> Hyperlink_Anchor TERM_question </A> </LI>

```

第4図 テンプレートの例

ここで“*”は繰り返し，“|”はOR結合，“...”は任意の文字列とのマッチングを表している。このテンプレートの適用によりタイトルが TERM_faq_title、質問が TERM_question、回答の位置を示すハイパーリンクが Hyperlink_Anchor にそれぞれ代入されることになる。

このようなテンプレートはかなり強いヒューリスティックに基づいており、必ずしも全てのFAQ文書に対して有効であるとはいえないが、実験では検索エンジンを用いて得られた110のFAQ文書に対して62(56.4%)のものには有効であったと報告されている。

5. 情報流通

WWW技術が広く社会に浸透した一因にはWWWブラウザの利便性があげられるが、これは利用者がURLで指定されたWWWサーバの情報を引き出すという一方的なものである。したがって通常のブラウザ利用法ではアクセスするまでサーバ側の情報が更新されていることが気づかないという問題点がある。最近、ニュースや

株価情報などリアルタイムで情報更新されるWWWサーバが増えており、利用者側からも最新の情報を即座に入手したいという要求も高くなっている。また情報提供者の視点からも、ビジネスや商品などの情報は、利用者からのアクセスを受身で待つのではなく、それを能動的に送り届けたいという要求がある。そこでインターネット上に存在する情報を情報提供者から情報利用者に対してスムーズに配送するための技術が重要になる。

5.1 プル技術とプッシュ技術

従来のブラウザによる情報アクセス技術はWWWサーバから利用者が情報を引き出すという意味でプル技術と呼ばれる。このようなプル機能を自動化するための仕組みとして、Internet Explorerにおける購読機能や、オートパイロットプログラムなどがある。これらは利用者が指定したWWWページを定期的に巡回し、その変更を知らせたり、自動的にダウンロードしてオフラインでのブラウジングを可能にするものである。

さらに高度なシステムとしてはLiveAgent[†]やMetaCommander^{††}がある。LiveAgentではローカルなプロキシとJavaScriptを組み合わせることで、ブラウザ上でのWWWページ巡航の様子を記録し、それを再現することができる¹¹⁾。またフォームを介したパラメータの設定等も記録することができる。MetaCommanderでは簡易スクリプト言語が用意され、WWWページのアクセス、情報抽出、さらにはその統合を自動化することが可能である¹²⁾。

プル技術とは逆に、情報提供者から能動的に情報配送するプッシュ技術としては、Internet Explorerにおけるチャンネル機能やPointCast^{†††}などの商用システムがすでに運用されている。これらのシステムは情報提供を行なうことを目的としているが、Marimba社^{††††}のCastanetではJavaで記述されたアプリケーションプログラムを配送することができ、パソコン上でアプリケーションソフトウェアの自動バージョンアップなどの用途にも利用することが可能である¹³⁾。

5.2 リコメンダーシステム

インターネット上での情報流通を議論する際には、プル技術、プッシュ技術といったような情報流通の方法論だけでなく、その流れをどのように制御するかということも重要になる。すなわち情報提供者と情報利用者の興味的一致に応じて適切に情報を配送することが要求される。ここでは電子商取引の分野においてその利用が期待され

[†]<http://www.agentsoft.com/>

^{††}<http://www.kdel.info.eng.osaka-cu.ac.jp/MetaCommander/>

^{†††}<http://www.pointcast.com/>

^{††††}<http://www.marimba.com/>

ているリコメンダー(推薦)システムを紹介しよう¹⁴⁾。

コンピュータを用いた推薦の方法には大きく分けて二つある。一つは内容ベース推薦でキーワードなどを用いて直接商品を推薦する方法である。内容ベース推薦の原型は文書検索システムにあり、利用者の指定するキーワードに対してシステムはそれに関連する重要なキーワードを含む文書を推薦する。しかしながらこの手法は、映画、音楽、レストランなどキーワードでは表すことのできない感性が決め手となる商品の推薦には適していない。

このような欠点を克服するもう一つの手法として協調的フィルタリング(collaborative filtering)[†]が注目されている。これは利用者の商品購入履歴を手がかりに、音楽CDなどの個人の嗜好を強く反映するような商品の推薦を行なうものである。例えば、顧客Xが商品Aと商品Bを購入し、顧客Yが商品Aを購入したとしよう。この時、システムは顧客Xと同一の商品Aを買った顧客Yは顧客Xと嗜好が同様であるという仮定を行ない、顧客Yのまだ購入していない商品Bの推薦を行なう。もちろんこの手法では購入履歴情報が少ない場合や、新製品を推薦するような場合には有効ではないが、大量の購入履歴を電子的に入手可能な電子商取引のような分野には有望な手法であると考えられている。リコメンダーシステムを採用した商用システムとしてはFirefly^{††}が代表的である。

6. まとめ

インターネット上での新たな情報共有を支援する知的情報統合技術について、情報収集、情報組織化、情報流通の観点からいくつかの事例を紹介した。多くのものは脚注に示したURLよりアクセス可能となっているので、実際に利用されることをお勧めする。しかしながら、これらの技術は満たすべき要求に対して完全にこたえているわけではなく、研究すべき技術的課題は多く残されている。知的情報統合技術はネットワーク、分散処理、文書検索、データベース、ユーザインタフェース、人工知能などの多くの要素技術が融合されたものであり、それぞれの研究分野の垣根を越えた学際的研究領域であるといえる。インターネットはそのような研究者の協力を支援するものであると同時に、その実験場にもなりうるものであるといえる。

[†]社会フィルタリング(social filtering)と呼ばれることもある。

^{††}<http://www.firefly.net/>

謝 辞

本解説の内容に関して議論いただいた「けいはんな知的情報統合研究会」の皆さんに感謝します。

(1995年8月1日受付)

参考文献

- 1) 石田晴久: インターネットはここまで来た-現状と課題-; 情報処理, Vol. 39, No. 5, pp. 393-399 (1998)
- 2) 武田英明: ネットワークを利用した知的情報統合; 人工知能学会誌, Vol. 11, No. 5, pp. 680-688 (1996)
- 3) E. Selberg and O. Etzioni: The MetaCrawler architecture for resource aggregation on the web; *IEEE Expert*, Vol. 12, No. 1, pp. 11-14 (1997)
- 4) A. E. Howe and D. Dreiling: Savvy Search: a metasearch engine that learns which search engines to query; *AI Magazine*, Vol. 18, No. 2, pp. 19-25 (1997)
- 5) J. Shakes, M. Langheinrich and O. Etzioni: Dynamic reference sifting: a case study in the homepage domain; *Proceedings of 6th International World Wide Web Conference* (1997)
- 6) T. Joachims, D. Freitag and T. Mitchell: WebWatcher: a tour guide for the world wide web; *Proceedings of 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 770-775 (1997)
- 7) 宗像浩一: 異種分散情報源の統合; システム/制御/情報, Vol. 40, No. 12, pp. 514-521 (1996)
- 8) R. オットー, P. バトリック, M. ロイ: 分散オブジェクト指向CORBA; プレンティスホール (1996)
- 9) 北村泰彦: マルチエージェントシステム; 日本ファジィ学会誌, Vol. 9, No. 3, pp. 302-311 (1997)
- 10) J. Y. Hsu and W. Yih: Template-based information mining from HTML documents; *Proceedings of 14th National Conference on Artificial Intelligence*, pp. 256-262 (1997)
- 11) B. Krulwich: Automating the Internet: agents as user surrogate; *IEEE Internet Computing*, Vol. 1, No. 4, pp. 34-38 (1997)
- 12) 北村泰彦, 野崎哲也, 辰巳昭治: スクリプトに基づくWWW情報統合支援システムとゲノムデータベースへの応用; 電子情報通信学会誌, Vol. J81-D-I, No. 5, pp. 451-459 (1998)
- 13) L. リメイ: Castanet インターネット環境でのプログラムの配布と公開; プレンティスホール (1997)
- 14) M. Balabanovic and Y. Shoham: Fab: content-based, collaborative recommendation; *Communications of the ACM*, Vol. 40, No. 3, pp. 66-72 (1997)

著者略歴

authorbiography 北村, 泰彦, きた, むら, やす, ひこ
正会員 1960年8月25日生。1988年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。同年大阪市立大学工学部助手。1990年情報工学科講師を経て、現在同助教。この間、1991-92年英国キール大学客員講師。分散人工知能、ヒューリスティック探索、インターネットコンピューティング、ゲノム情報処理などの研究に従事。IEEE, AAAI, ACM, ISOC, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会, ソフトウェア科学会の会員。