

Enhanced Proceedings: 紙インターフェイスのアプリケーション としての論文管理システム

中西 泰人 小池 英樹

電気通信大学大学院情報システム学研究所

{naka, koike}@is.uec.ac.jp

あらまし

Paper Interface のアプリケーションを構築するにあたって、机型実世界指向インターフェイスである Enhanced Desk とデータベースを統合し、ローカルなコミュニティにおける論文の利用に焦点を当てたアプリケーションである Enhanced Proceedings を構築した。システムの利用方法は、論文データベースへのデータの登録、Enhanced Desk での論文の利用、論文データベースの利用、の3つである。Enhanced Proceedings は、ローカルなコミュニティのメンバがより効率的に紙と電子的な情報の行き来をするための Paper Interface のアプリケーションであるが、データベースを構築するだけでなく、メンバの論文参照履歴を保存することで、論文のコンテキストを共有し、簡易的な協調的情報提示システムを構築することを目指した。

Enhanced Proceedings : a Document Management System in a Local Community as an Application of Paper Interface

Yasuto Nakanishi and Hideki Koike

Graduate School of Information Systems, Univ. of Electro-Communications

Abstract

This paper introduces a document management system in a local community as an application of paper interface. The system, called Enhanced Proceedings, integrates a database and Enhanced Desk[Kobayashi]. In this system, when reading a good paper in proceedings or journals, users in the community enter its relevant information to a database and put a barcode to the paper. Enhanced Desk recognizes the barcode on a paper by image-processing. When a user requests relevant information to the paper, the information in the database will be sent in an e-mail to him/her. He/she can access its relevant information not with searching but with just clicking the URLs in the e-mail. At the same time, the database stores the date when the user accessed the paper and makes histories that who has read the paper and what papers a user has read. Barcodes on papers and visualizing the histories will work as a simple recommender system in a local community.

1. はじめに

研究室内で用いられる紙の情報と電子的な情報にも様々なものがあるが、日々利用される学術論文も様々なかたちで配布されるようになった。印刷物として予稿集に、PDF ファイルとして電子図書館に、HTML ファイルとして著者のホームページにといったように、同一の内容が異なるファイル形式で複数存在している。我々の研究室においても、印刷物と電子ファイルの両方のメディアにまたがって、論文が利用されている。

しかし、他のメンバが論文の PDF ファイルの URL を知っているにも関わらずサーチエンジンや電子図書館で検索を行ったり、他のメンバが印刷物として持っている論文を図書館や電子図書館で探す、などといったことが起きているのが現状である。これは、紙の情報と電子的な情報をむすびつけるための作業は、研究室のメンバが個別に行っており、その結果、重複して繰り返し行われる作業となっていると考えられる。

HTML ファイルや PDF ファイルなどの普及によ

り、同じ内容の情報が実空間の印刷物だけでなく情報空間の様々な場所に様々なファイル形式で混在するようになりつつある。そのため、紙と電子的な情報をシームレスに結び付けるための Paper Interfaceに関する研究も多くなされている[Wellner][Arai][脇田][椎尾]。従来の研究の多くは、紙の情報と電子的な情報を統合するにあたって、パーソナルな活動に焦点がおかれていた。そこで本研究では、Paper Interfaceのシステムをグループで用いるアプリケーションである Enhanced Proceedingsの開発を行った。これは、机型実世界指向インターフェイスである Enhanced Desk[Kobayashi]と論文に関する情報を管理するデータベースを統合したシステムである。Enhanced Proceedingsは、Paper Interfaceのアプリケーションであり、Enhanced Deskを複数で非同期的に使用する。使用環境としては、研究室のようなローカルなコミュニティのメンバーの机すべてが机型の実世界指向インターフェイスであると想定している。

これまでの Enhanced Deskにおけるアプリケーションは、画像認識を用いて紙の情報とそれに関連のある電子的な情報をユーザに提示するスタンドアロンなアプリケーションであった。また、その提示する情報は、アプリケーションの作成者が事前に用意したものであった[Kobayashi]。本研究では、Enhanced Deskをクライアントサーバシステムのクライアントとして使用し、データベースと連動したアプリケーションを構築する。そうすることで、ユーザ自身が紙の情報に関連のある電子的な情報を登録し、また他のユーザがその登録された情報を利用することが可能なアプリケーションを構築する。

システムの利用方法は、1) 論文データベースへのデータの登録、2) Enhanced Deskでの論文の利用、3) 論文データベースの利用、の3つに別れる。Enhanced Proceedingsは、ローカルなコミュニティのメンバーがより効率的に紙と電子的な情報の行き来をするための Paper Interfaceのアプリケーションであるが、データベースを構築するだけでなく、それぞれのメンバーが論文を参照した履歴を保存する。コミュニティ内における論文のコンテキストを共有し、論文が参照された履歴を視覚化

することで、簡易的な協調的情報提示システムを構築し、研究室内の情報共有を促進することができると思われる。

以降では2章で Enhanced Proceedingsの実装について、3章で議論、4章でまとめについて述べる。

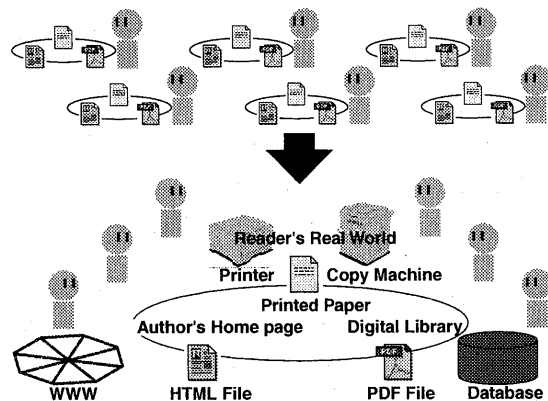


図1 研究の目的：リンク情報と参照履歴の共有

2. Enhanced Proceedings

2.1 システム構成

システム構成を図2に示す。Enhanced Deskは、机、机上での作業をモニタする CCDカメラ、画像処理ボードを搭載した Linux PC で構成されている。これまでの研究では、Enhanced Deskを単体で用いてきたが[Kobayashi]、本研究では、クライアントサーバシステムを構築し、Enhanced Deskをクライアントとして用いる。サーバは Java を用いて構築し、サーバと各クライアントは Socket を用いて通信を行う。サーバはリレーショナルデータベースである PostgreSQL と接続されており、ネットワークにはメールサーバとプリンタが接続されている(図2)。

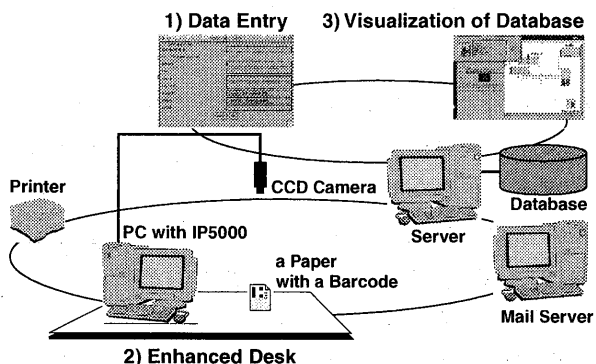
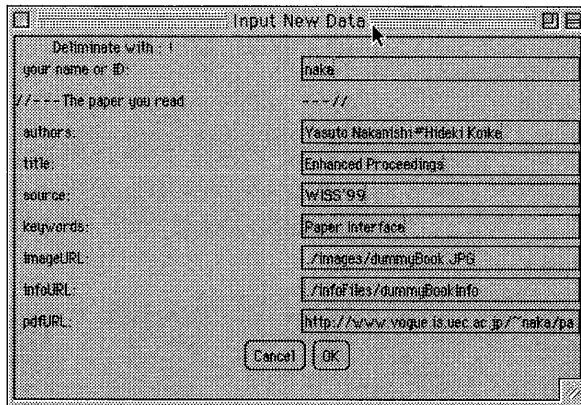


図2 システム構成

2.2 システムの利用

システムの利用は、論文のデータベースへの登録、Enhanced Desk上で論文を読む、論文データベースを利用する、という3つのプロセスに別れる(図2)。以下では、それぞれのプロセスについてより詳しく述べる。

2.2.1 データベースへの登録



Field	Value
Delimitate with your name or ID	naka
The paper you read	---
authors	Yasuo Nakanishi*Hidetaka Koike
title	Enhanced Proceedings
source	WISS'99
keywords	Paper Interface
imageURL	/images/durmmBook.JPG
infoURL	/infofiles/durmmBookInfo
pdfURL	http://www.vogel.is.uec.ac.jp/naka/pa

図3 論文データの登録画面

大学の研究室などローカルなコミュニティで、論文集や国際会議などの予稿集などを新しく購入した際には、そのタイトルおよび学会や国際会議など関連したホームページのURLなどをデータベースに登録する。また、コミュニティのメンバが予稿集や論文誌などの印刷物に掲載された論文の中で、自分の研究に参考になったり有意義な論文であると判断した場合には、その論文に関する情報をデータベースに登録する。

著者やタイトル、出典など、論文に関する情報だけでなく、WWWや電子図書館などで検索し、著者のホームページのURLやその論文の電子図書館内のPDFファイルのURLなどが得られた場合には、それらの情報もデータベースに登録する(図3)。

新規登録の際には、登録した予稿集や論文それぞれに対してIDが付与され、研究室のプリンタから対応した番号の2次元コードがプリンタから出力される。そして、登録したユーザは出力された番号の2次元コードをその論文に貼付しておく(図5)。

そうすることで、2次元コードが貼ってある論

文に関しては、自ら検索をすることなく関連情報をデータベースから得ることができ、また、Enhanced Desk上でそれらを利用する際には、画像認識を用いて2次元コードのIDを認識することで、容易に関連情報を得ることが可能になる。

2.2.2 Enhanced Desk上で論文を読む

研究活動の中で論文を探す場合に、サーチエンジンや電子図書館などを利用することも多いが、紙のメディアとしての特性である迅速なナビゲーションを生かして、印刷物である予稿集や論文誌を手でめくことも多い(O'Hara)。情報視覚化の分野では、さまざまな描画手法を用いてブラウジング検索を行うための研究が行われているが、本棚や論文誌といった実空間における物理的な情報の配置も、一つ視点から構成された情報空間であり、身体的なブラウジング検索は新たな情報に出会うための契機を依然として提供し続けている。

印刷物で論文を探している間に、後で読む論文の候補として興味を持った論文にPost-itをはるという行為は、ごく日常的に行われていると思われる。当研究室にある予稿集や論文誌などを見ても、様々な色のPost-itが論文に貼られている(図4)。この光景からは、Post-itを利用しつつ予稿集をバラバラとめくりながら、研究室のメンバの誰かが論文を探し、後にその論文をコピー機を使ってコピーしたりより詳しく読んだであろうことが推察される。

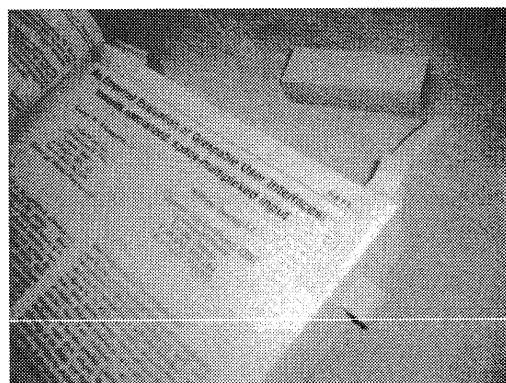


図4 Post-itの貼られた論文

同様に、Enhanced Proceedingsを利用している場合に、論文に2次元コードが貼付されているということは、コミュニティの他のメンバがその論文

に興味を持ち、有用であると判断して関連情報をデータベースに登録したことを示す。これは、その論文が研究室のこれまでの活動に関連があることを示し、また、関連情報がデータベース内に格納されていることを示すトリガーとなる(図5)。

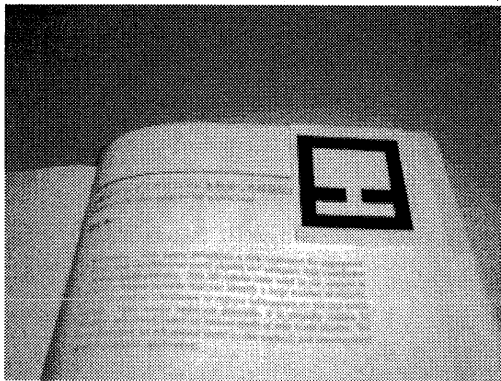


図5 2次元コードの貼られた論文

Enhanced Deskは、机上のCCDカメラからの入力画像から画像処理技術を用いて、2次元コードのIDの認識を行う[唇本]。Enhanced Deskが2次元コードを認識している場合に、ユーザが関連情報の検索を要求するために割り当てられたキーボードのキーを押すと、ユーザのログイン名、コマンドの種類(検索要求)、2次元コードのID、マシン名がサーバに送信される。

サーバは該当するユーザのメールアドレスと2次元コードのIDに対応した論文の情報を接続されたデータベースから検索する。そして、得られた検索結果を電子メールとして作成し、ユーザのメールアドレスに送信する(図6)。ユーザがWWWブラウザに付属のメーラーを用いている場合には、送られてきた電子メールの中に記述されたURLをクリックするだけで、検索することなく、著者のホームページや電子図書館に登録されたPDFファイルをブラウザの中でみることができる(図7)。

これまでのEnhanced Deskのアプリケーションでは、提示される情報は事前に用意された静的な情報や関連情報へのリンクであった。Enhanced Proceedingsでは、提示される情報はローカルなコミュニティ内の他のメンバが入力した情報であり、またその情報は動的に入力され、データベースが更新されていく。これまでのアプリケーション

ンでは、情報を提示する際には、紙の情報に電子的な情報をオーバーレイすることに主眼が置かれていた。Enhanced Proceedingsでは、様々な形式で保存されている同一の情報(紙やHTML、PDFなど)の行き来を容易にすることが目的であるため、様々なファイル形式を提示することが可能なブラウザを用いて情報を提示する。

ブラウザとデータベースの関係には電子メールを用い、検索結果の提示はメーラーが行うことで、2次元コードの貼られた論文に関しては、ユーザはSQLなどデータベースへの問い合わせを意識することなく関連する電子的な情報の所在を得ることができ、また、電子メール内のURLをワンクリックするだけで関連情報の検索結果をブラウザ内で見ることができる。

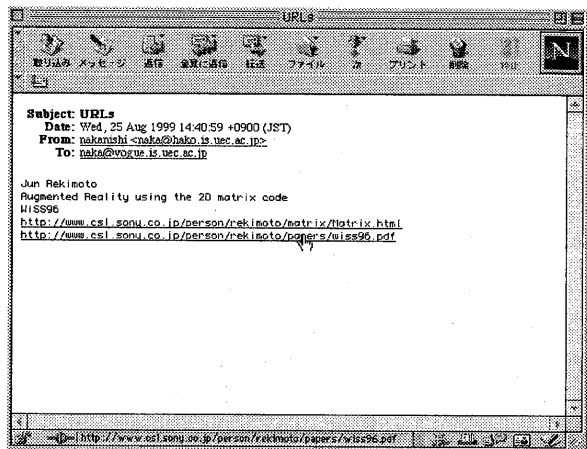


図6 サーバから送信されたメール

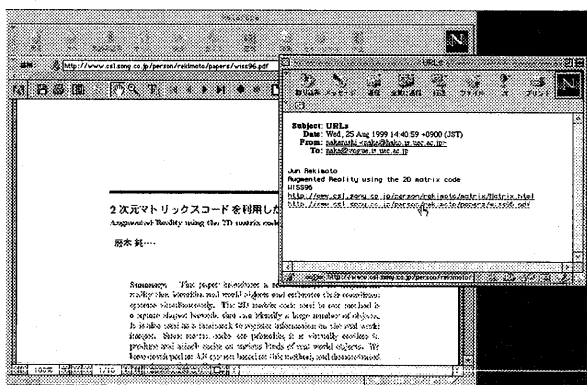


図7 ブラウザ内でPDFファイルを開く

2.2.3 論文データベースを利用する

ユーザが検索の要求をした場合には、検索の要求と共にユーザ名やマシン名などの情報がサーバに通知される。サーバはユーザに検索結果を返す

だけでなく、そのユーザがその論文を参照した日付けをデータベースに登録し、論文がユーザに参照された履歴とユーザが論文を参照した履歴を更新する。

Enhanced Proceedingsでは、データベースで論文への参照履歴を管理し、またそれをコミュニティのメンバで共有する。論文に関する参照履歴は、コミュニティ内におけるその論文のコンテキストを表現するものと考えられる。また、その論文が参照された履歴を視覚化することで、簡易的な協調の情報提示システムを構築し、研究室内の情報共有を促進することができると思われる。

WWWなどでは、その構成規模の拡大と共に情報検索の困難性が問題となっており、情報フィルタリングの研究が数多くなされている。中でも、システムが多様な情報の内容を理解し、ユーザの代わりに取捨選択をすることは困難なため、これを回避するための情報提示システムとして協調フィルタリングを用いたシステムがある[Shardanand][Tatemura][斉藤]。協調フィルタリングでは、類似した興味や関心を持つユーザ同士をシステムが判別し、興味の対象が似通ったユーザが過去に価値があると評価した情報を、互いに提示させる。しかし、提示する情報に対するユーザの評価値をもとにして提示を行うため

- 1) システム内で提示しあう情報は、あるユーザが過去に評価を行い、システム内にあらかじめ取り込んでおく必要がある
- 2) システムがユーザ同士の類似度をよく判別するためには、ユーザは多くの情報に対して評価値を設定する必要がある

といった特徴をもつ[Balabonovic]。Enhanced Proceedingsでは、ユーザが関連情報データベースに登録し2次元コードを貼付することでシステム内に情報を取り込む。また、検索結果の要求がユーザが情報を評価したことに相当するが、数値的な評価値の設定を行っていないため、システムがユーザの類似度の適切に判別することは難しい。しかし、ローカルなコミュニティにおいては、他のメンバがどういった関心や興味を持っているかということはある程度把握できていると考えられる。そのため、誰がどの論文にいつ参照したかと

いう履歴情報を示すことで、その論文のコミュニティ内におけるコンテキストを表現でき、簡易的な協調フィルタリングシステムを構築できると思われる。

データベースの利用画面では、タイトルや著者などをキーワード検索することができ、検索結果のリストがユーザに提示される。そのリストの中から候補の一つを選択すると、その論文を登録したユーザおよび関連情報の検索をおこなったユーザが表示される。

現在のプロトタイプでは、研究室内のメンバをその座席どおりに配置し、その論文に参照したことのあるユーザの座席の位置には、人型のアイコンが現れる。その論文にいつ参照したかという日付けは、アイコンを表示する色の濃淡として表現した。最後のアクセスをRGB値(0, 0, 255)の色でアイコンを描画し、最初のアクセスをRGB値(0, 0, 50)の色でアイコンを描画する。その他のアクセスは、(0, 0, 50)と(0, 0, 255)の間で時間情報を用いて描画色の値を求める。現時点では、最初のアクセスと最後のアクセスとそのアクセスの時間の差を用いて線形的に描画色を求める。現在のシステムでは、ユーザの配置として当講座の教官および学生の座席を用い、建物内の配置どおりに表示した(図8)。研究室のある電気通信大学P棟、実験設備のあるSVBL、共同研究を行っている東京大学内の実験室を2次元平面に配置した。研究室と実験室に複数の机を与えられているユーザについては、それぞれの座席の位置に人型のアイコンが表示される。人形アイコンをクリックするとそのメンバに関するウィンドウが開き、各メンバが読んできた論文の履歴が時間順にリストアップされる(図8)。また、各メンバが読んだ他の論文についても、リストから選択をすることで、その論文が参照されてきた履歴を見ることができる。

3. 議論

論文に貼られた2次元コードは、誰かがその論文をかつて参照したことを示し、それがコミュニティにとって有用な情報であって、関連情報がデータベースに入力されていることを示す。またデータベースにアクセスすれば、その論文を誰が

いつ参照したかという履歴を知ることができる。さらに、その論文を参照したメンバが他にどういった論文をこれまで参照してきたかという履歴を知ることができる。

本システムを用いて、紙の情報と関連したHTMLファイルやPDFファイルなどの電子的な情報を得るためには、2次元コードが貼付された論文に関しては、電子図書館やサーチエンジンではなくデータベースを検索すればよい。さらに、Enhanced Deskにおいて2次元コードが認識できれば、コマンドの送信によって、論文に関する情報が記述された電子メールがユーザに送られるため、検索をすることもなく電子的なファイルのURLなどを得ることができる。WWWブラウザに付属のメーラを用いれば、送信された電子メールのHTMLファイルおよびPDFファイルのURLをワンクリックするだけで電子的なファイルを見ることができる。そのため、印刷物としての論文と電子的なファイルを素早くかつ容易に対応づけることができると思われる。

ローカルなコミュニティでプロジェクトなどを進めるにあたって、メンバ同士で参考となる情報を共有することは一般的であると思われる。しかし、大学の研究室のようにメンバが定期的に入れ替るような場合は、その情報を共有する作業も定期的に繰り返されるだけでなく、コミュニティを

去るメンバの持つ情報を新規メンバに伝達することが困難なケースもある。さらに、新規メンバが共有した情報についても、紙の情報と電子的な情報をむすびつけるための作業も同様に重複して繰り返行われている。本システムを用いれば、研究の前任者などが参照した論文の所在を新規メンバにすぐに伝達することができる。さらに情報の共有およびそれらの印刷物としての情報と電子的な情報の関連づけという定期的に繰り返される作業を省力化することができ、コミュニティの情報共有を促進することができると思われる。

またプロジェクトを進めるにあたっては、情報の所在をメンバに伝えるだけではなく、コミュニティの中でその情報が占める位置付けも共有する必要があると思われる。その情報を誰がいつ参照したかという履歴と、誰がこれまでどのような情報を参照してきたかという履歴は、研究室におけるその論文のコンテキストを理解することを支援できると考えられ、コミュニティの新規メンバなどに対しても、それぞれの論文が研究室内で占めるコンテキストを伝達することが容易になると思われる。参照履歴の共有化は、単なる情報の共有化以上に、研究室での情報共有をさらに促進するのではないかと考えられる。

興味の対象が似通ったユーザが過去に価値があると評価した情報を互いに提示させる協調フィル

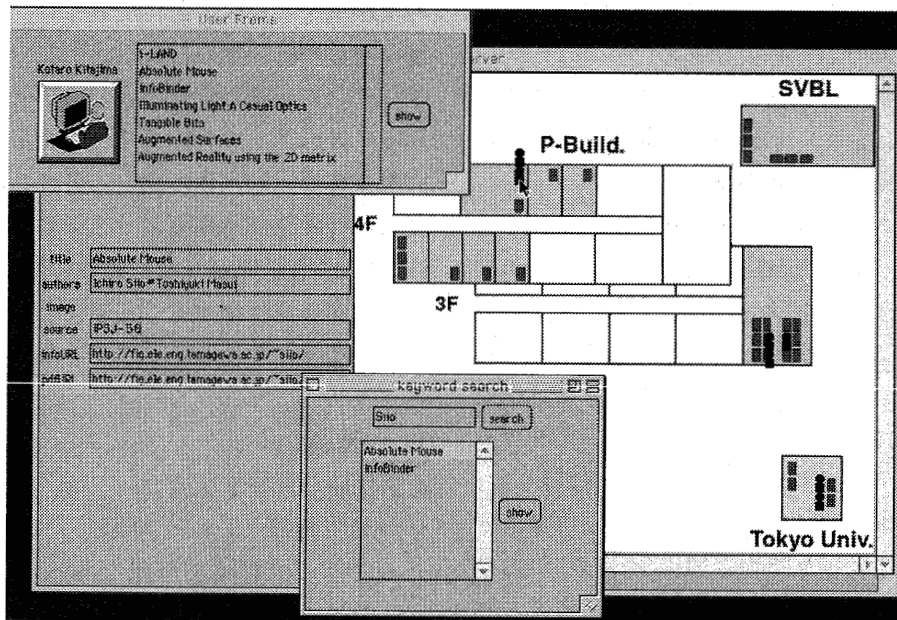


図8 データベースの利用画面

タリングシステムの中には、情報の関連を視覚化するだけでなく、その情報の評価を行ったユーザの関連を視覚化し、さらに情報と批評者の関連を示すことで、情報空間の中での各情報の位置付けをユーザに提示する研究がある[Tatemura][Orimo]. しかし、本研究が対象としているような、構成するメンバの数がそれほど多くないローカルなコミュニティでは、そうした批評者空間を適切に構築するのに必要なユーザの数と情報に対する評価の数を、十分に得ることが難しいと考えられる。ローカルなコミュニティにおいては、メンバの興味や関心などはある程度共有され、実空間での座席の配置の近さも研究や仕事の内容とある程度関連していると考えられる。そのため現在のプロトタイプでは、興味や関心などを用いてメンバの関連性を空間的に視覚化せず、座席の配置を用いてメンバを空間的にマッピングした。

また、現在のシステムでは、参照した日付けもアイコンの色の濃淡として表現しているに過ぎず、情報の視覚化技術としては、単純なものに留まっている。時間と関連のある情報の視覚化の研究も盛んに行われており[Freeman][Rekimoto99a], メンバの関連および情報の関連と参照履歴を統合した視覚化をより豊かなものとするすることで、コミュニティにおける情報のコンテキストを把握しやすくすることできると思われる。情報視覚化の研究の中には、コミュニティ内における知識共有のあり方を対象としたものもある[平田]. 本研究で、情報へのアクセスの履歴や時間の関係を用いて、ローカルなコミュニティを対象として様々な情報のコンテキストをより効果的に視覚化することは、今後の大きな課題である。

試験的に運用してみると、データ入力の手間は少ないとは言えない。そのため、CCDカメラとOCRシステムとの連動などにより、データ入力の省力化を行いたいと考える。現在入力するデータは、著者名、タイトル、出典など、決まったフォーマットによる入力であるが、読者のコメントや興味を入力できるBBS的な機能をもたせることで、より情報の共有を促進することができると考えられるため、そうした機能の実装は今後の課題の一つである。

また、現在のシステムは、共有したい情報に対して印刷物に2次元コードを貼付してIDを付与する必要があるため、印刷された論文を物理的に共有できるようなスケールの空間で構成されるコミュニティを対象としている。しかし、論文に関するデータは学会などで管理されており、様々なデータベースも構築されている。論文誌や予稿集を出版する際に、論文のIDやURLを示すバーコードや2次元コードを論文に印刷し、論文を検索するためのサーバおよび対応したクライアントを開発すれば、学会を一つのローカルなコミュニティとみなしたEnhanced Proceedingsを構築できると考えられる。論文の参照履歴の公開にはプライバシーの問題があると思われるが、コミュニティを学科や大学内、学会内などに拮げたシステムとすることも可能であると思われる。

Augmented Reality (以下AR) のシステムの中でグループで用いるものとしては、複数の机を用いたシステムや[Underkoffler], テーブルや部屋などのより大きな空間を複数のユーザで用いるものなどがある[Lange][Streitz][Rekimoto99b]. こうしたシステムでは、ユーザ達が同期的にデータを共有しながら実空間と情報空間をシームレスに利用するためのシステムが構築に焦点が当てられている。本研究では、複数のARシステムをクライアントとして用いるクライアントサーバシステムを開発し、非同期的にデータを共有するアプリケーションの構築を目的とした。また、複数のユーザが非同期的にデータを共有するためのARシステムとしてはTransWorldがあるが[Ito], 本研究ではローカルなコミュニティ内での学術論文を対象をしぼってシステムを構築し、印刷物としての情報と電子的な情報をシームレスに利用するだけでなくローカルなコミュニティ内での情報共有を支援するためのシステムの構築を目指した。

4. 結論

Paper Interfaceのアプリケーションを構築するにあたって、Enhanced Deskとデータベースを統合し、論文の利用に焦点を当てたアプリケーションEnhanced Proceedingsを構築した。論文に関連した情報の共有化だけでなく、論文の参照履歴の共有化

を行うことで、ローカルなコミュニティでの情報共有の省力化と促進を図った。

謝辞

マトリックスコードに関するライブラリを提供して下さいましたソニー CSLの暦本純一氏に深く感謝いたします。

参考文献

[Arai] Arai, T., Aust D. and Hudson, S. E., Paper Link: A Technique for Hyperlinking from Real Paper to Electronic Content, Proceedings of CHI'97, pp.327-334 (1997).

[Balabanovic] Balabanovic, M. and Shoham, Y., Fab Content-Based Collaborative Recommendation, CACM, Vol.40, No.3, pp.66-72 (1997).

[Freeman] Freeman, E., T. and Fertig, S. J., Lifestreams: Organizing your electronic life, in AAAI Fall Symposium; AI Applications in Knowledge Navigation and Retrieval (1995).

[平田] 平田高志, 村上晴美, 西田豊明, 連想表現を用いたコミュニティにおける知識の視覚化とその評価実験, システム制御情報学会論文誌, 12(7), pp. 428-436, 1999.

[Ito] Ito, N., Fujita, N., Shimizu, H., Kanajima, N. and Yamada, K., TransWorld: Paper World as Avatar of Electronic World, CHI'99 late-breaking results (1999).

[Kobayashi] Kobayashi M. and Koike H., EnhancedDesk: Integrating Paper Documents and Digital Documents, Proceedings of 3rd Asia Pacific Computer Human Interaction (APCHI98), pp.57-62 (1998).

[Lange] Lange, B. M., Jones, M. A. and Meyers, J. L. : Insight Lab: An Immersive Team Environment Linking Paper, Display and Data, Proceedings of CHI'98, pp.550-557 (1998).

[Orimo] Orimo, M. and Koike, H., ZASH: A Browsing System for Multi-Dimensional Data, Proceedings of VL'99, pp.288-295 (1999).

[O'Hara] O'Hara, K. and Sellen, A., A Comparison of Reading Paper and On-Line Documents, Proceedings of CHI'97, pp.335-342 (1997).

[暦本] 暦本純一, 2次元マトリックスコードを利用

した拡張現実感システムの構成手法, インタラクティブシステムとソフトウェア IV, pp.199-208, 近代科学社 (1996).

[Rekimoto99a] Rekimoto, J., TimeScape: A Time Machine for the Desktop Environment, CHI'99 late-breaking results (1999).

[Rekimoto99b] Rekimoto, J. and Saitoh, M., Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Workspace for Hybrid Computing Environments, Proceedings of CHI'99 (1999).

[齐藤] 齐藤章, 中西泰人, ハイパーリンク情報を利用した協調提示システム, 分散システム/インターネット運用技術シンポジウム '99 論文集, pp.57-62 (1999).

[Shardanand] Shardanand, U. and Maes, P., Social Information Filtering: Algorithms for Automating "Word of Mouth", Proceedings of CHI'95, pp.210-217 (1995).

[椎尾] 椎尾一郎, 増井俊之, Absolute Mouse:絶対座標マウスとその応用, 情報処理学会研究会報告 HI83-2, pp.7-12 (1999).

[Streitz] Streitz, N.A., Gesler, J., Holmer, T., Konomi, S., Meler-Tomfelde, C., Reischl, W., Rexroth, P., Seitz, P., and Steinmetz, R., i-LAND: An interactive Landscape for Creativity and Innovation, Proceedings of CHI'99 (1999).

[Tatemura] Tatemura, J., Santini, S. and Jain, R., Social and Content-based Approach for Visual Recommendation of Web Graphics, Proceedings of VL'99, pp.200-201 (1999).

[Underkoffler] Underkoffler, J., Ullmer, B., Ishi, H., Emancipated Pixels: Real-World Graphics in the Luminous Room, Proceedings SIGGRAPH'99 (1999).

[脇田] 脇田敏裕, 長屋隆之, 寺寫立太, 2次元コードを用いた WWW と紙メディアとの融合の試み, 情報処理学会研究会報告 HI76-1, pp.1-6 (1998).

[Wellner] Wellner, P., Interacting with paper on the DigitalDesk, Communications of the ACM, Vol.39, No.7, pp.87-96 (1993).