

# 「情報と知」研究領域活動・事後評価報告書

—平成12年度終了研究課題—

領域総括 安西 祐一郎

## 1. 研究領域の概要

情報の面から人間の知的活動をサポートする新しい情報処理システムの構築を目指し、ソフトウェアを中心とした基盤的情報科学と先端的情報技術の研究を行う。例えば、分散処理、ネットワーク、アーキテクチャ、知的情報処理、マルチメディア、ヒューマンインタフェース、脳型コンピューティング、計算モデル、アルゴリズムなどに関する基礎研究、あるいは様々な分野への応用などの研究も含む。

## 2. 研究課題・研究者名

別紙一覧表参照

## 3. 選考方針

選考の基本的な考えは下記の通り。

- 1) 選考は「情報と知」領域に設けた選考委員3名と領域総括で行う。
- 2) 選考方法は、書類選考、面接選考および総合選考とする。
- 3) 独創的な発想に恵まれ、活力に富み、自ら研究を実施する者を優先する。
- 4) 審査は、書類選考結果、面接選考結果および研究実施の条件等を加味して総合的観点から行う。

## 4. 選考の経緯

| 選考   | 書類選考 | 面接選考 | 採用者 |
|------|------|------|-----|
| 対象者数 | 93人  | 10人  | 5人  |

## 5. 研究実施期間

平成9年10月～平成12年9月

## 6. 領域の活動状況

領域会議： 6回

研究報告会： 1回

領域総括(または技術参事)の研究実施場所訪問： 研究開始に際し全研究者を訪問。その後研究実施場所を移った際に新研究実施場所を訪問。

## 7. 評価の手続き

領域総括が個人研究者からの報告・自己評価を基に領域アドバイザーの協力を得て行った。また、研究終了時に事業団が開催する一般公開の研究報告会等の参加者の意見を参考とした。

(評価の流れ)

|          |               |
|----------|---------------|
| 平成12年9月  | 研究期間終了        |
| 平成12年12月 | 研究報告会を東京で開催   |
| 平成12年12月 | 研究報告書及び自己評価提出 |
| 平成13年1月  | 領域総括による評価     |

## 8. 評価項目

- (イ) 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新しい知見の取得等の研究成果の状況
- (ロ) 得られた研究成果の科学技術への貢献

## 9. 研究成果

第1期生5名が3年間の研究期間を終えたが、一言で言えば、5名の研究者すべてが、これからの土台となる大きな結果を生み出し、また研究者として一回りたくましく成長したと言える。彼らのそれぞれが、このさきがけ研究21「情報と知」領域に在籍していた3年間の研究によって、将来にわたってさらに大きな研究プロジェクトを行ない、大きな成果を挙げていける力を身につけることができたことは疑いない。

個別に言えば、加藤和彦はモバイルオブジェクトの実装を可能にする新しいネットワークソフトウェア基盤の研究に取り組み、モバイル環境を実現する設計、実装、および世界規模の広域ネットワークを用いた評価に至る一貫した結果を出すことに成功した。佐藤理史は大規模情報の検索と編集というテーマに取り組み、大規模カテゴリーにガイドされた自動編集という方法論を提唱して編集という多面的な活動に一貫性を与えただけでなく、実際に自然言語データベースの検索や編集に利用できるシステムを設計、実装し、日本の地域情報ディレクトリを自動生成・編集することに成功した。田辺誠はこれまで研究の進んでいなかった時間計算モデルの研究に取り組み、時相線形論理、直感主義時相論理、実時間計算用プロセス代数等さまざまな論理体系を拡張して時間計算の新しいモデルの構築とスケジューリングへの応用に成功した。中小路久美代はコンピュータを人間にとって有用な道具とするためのインタラクティブシステムの研究に取り組み、Collective Creativityという新しい概念を提唱するとともに、複数の人間の協調的な創造的思考を支援するシステムの構築に成功した。山崎信行はロボット制御やマルチメディア処理に有効な通信と演算処理の両方をサポートするシステムオンチップのリアルタイムプロセッサアーキテクチャの設計研究に取り組み、実時間通信リンク(国際標準化がほぼ確実となっている)、マルチスレッド型実時間プロセッサ等の設計と実装に成功した。

以上、各研究者について「成功した」と述べたが、結果を出すことに成功しただけでなく、将来の研究の土台作りを行なうことができた点についても高く評価している。

また、第1期生の採用選考における偶然の結果であったが、広範囲にわたる「情報と知」領域のテーマの中で、5人の研究分野は、それぞれネットワークソフトウェア基盤、大規模情報の組織化、新しい

計算モデル、人間とコンピュータのインタラクティブシステム、プロセッサアーキテクチャと、まったく分散しており、しかも情報技術の相当部分をカバーするスペクトルを持っていた。したがって、第2期生以降の研究者が毎年領域に加わってくる中で、第1期生5名はそれぞれの分野を代表した形になった。しかも、彼らは領域会議等でも積極的に後輩を引っ張り、リードしてくれた。こうしたことも、有形無形に個人研究者としての彼らの土台を作り、またたくましさを身につけさせることに役立つように思われる。昨年12月に開催した第1期生の研究報告会では、彼ら自身の研究成果報告だけでなく、彼ら一人ひとりが自分で、同分野の研究者をコメンテータとして依頼し、セッションを組み立てた。これは領域総括のアイデアで行ったことであったが、彼らはそれぞれが独立した研究者としてセッションを仕切る役割を果たしたと評価できる。

なお、情報関連分野の研究評価において論文等の発表件数がどう役立つかについては分野の内外で様々な議論がある。最近では大学においても、ITの学術的側面を社会に役立つ形で発展させるために、情報分野の研究評価として、他の伝統的な理工系分野と異なり、論文発表件数だけでなく、むしろシステムの設計、システムの実装、国際標準化への貢献等の活動とその結果を重視すべきとの声が相当にある。「情報と知」領域における領域総括としては、こうした方向を十分に認識し、第1期生だけでなくその後に採用された研究者すべてに、論文の発表件数にこだわるよりは、自分の研究の土台作りと未来の社会に役立つ研究を指向すべきことを説いてきた。論文発表件数が研究評価のすべてではないという考え方については伝統的な理工系分野ではあまり議論にならないことかもしれないが、少なくとも情報関連分野においてはすでにその方向にあると考えられるので、ここに付記しておきたい。

## 10. 評価者

領域総括: 安西 祐一郎 慶應義塾大学塾長

領域アドバイザー氏名(肩書きは現職)

久間 和生 三菱電機(株) システム LSI 事業統括部 AR 事業  
推進プロジェクト部長

後藤 滋樹 早稲田大学 理工学部 教授

田中 譲 北海道大学 工学部 教授

西尾 章治郎 大阪大学大学院 工学研究科 教授

橋田 浩一 産業技術総合研究所電子技術総合研究所  
情報科学部 部長

松山 隆司 京都大学大学院 工学研究科 教授

米澤 明憲 東京大学大学院 理学系研究科 教授

(参考)

(1)外部発表件数

|     | 国内 | 国際 | 計  |
|-----|----|----|----|
| 論文  | 21 | 15 | 36 |
| 口頭  | 17 | 8  | 25 |
| その他 | 1  | 2  | 3  |
| 合計  | 39 | 25 | 64 |

(2)特許出願件数 : 0

(3)受賞等 :

FPGA/PLD Design Conference & Exhibit 優秀論文賞(1999)

(4)招待講演

国際 : 0

国内 : 2

## 「情報と知」領域 研究課題名および研究者氏名

| 研究者氏名<br>(参加形態) | 研究課題名<br>(研究実施場所)                                       | 現職<br>(応募時所属)                                   |
|-----------------|---|---|
| 加藤 和彦<br>(兼任)   | モバイルオブジェクト・コンピューティング<br><br>(筑波大学電子・情報工学系)              | 筑波大学電子・情報工学系 助教授<br>(同上 助教授)                    |
| 佐藤 理史<br>(兼任)   | 利用目的に応じた情報の組織化と自動編集<br><br>(京都大学大学院情報学研究科)              | 京都大学大学院情報学研究科 助教授<br>(北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 助教授) |
| 田辺 誠<br>(兼任)    | 分散実時間システムにおける時間概念の抽象化および形式化<br><br>((財)京都高度技術研究所)       | (財)京都高度技術研究所 研究員<br>(同上 研究員)                    |
| 中小路 久美代<br>(兼任) | 創造的な情報デザインの協調的支援技術に関する研究<br><br>(奈良先端科学技術大学院大学)         | (株)SRA ソフトウェア工学研究所 主席補<br>(同上 主席補)              |
| 山崎 信行<br>(兼任)   | 並列分散制御用実時間アーキテクチャの研究<br><br>(電子技術総合研究所／慶應義塾大学理工学部情報工学科) | 慶應義塾大学理工学部情報工学科 専任講師<br>(電子技術総合研究所 研究員)         |

## 研究課題別研究評価

研究課題名: モバイルオブジェクト・コンピューティング

研究者名: 加藤 和彦

研究の狙い: モバイルオブジェクトとは、内部にプログラムコード、データ、スレッドを含むソフトウェアオブジェクトが厳格なアクセス制御のもと、自在にネットワーク環境上を移動可能とする技術である。本研究では、モバイルオブジェクトに関して次の 3 点に関して研究を行った。第一に、モバイルオブジェクト技術を可能にするソフトウェアプラットフォーム Planet の設計と実現を行った。第二に、モバイルオブジェクト技術がもたらす新しいネットワークソフトウェア技術の可能性を探求した。第三に、広域ネットワーク環境上にて有用性を実証する研究を行った。

## 研究結果及び自己評価

### 研究結果

研究の狙いに掲げた三点について研究結果をまとめる。

Planet の設計と実現 Planet システムの最大の特徴は、オペレーティングシステムの機能拡張という形でモバイルオブジェクトの機能を提供し、しかも、ポータビリティを供するために、既存のオペレーティングシステム自体を改変することなく、ミドルウェア(OS 層とプログラミング言語層またはアプリケーション層の中間の層)として実現している点にある。このため、アプリケーション層にモバイルオブジェクトの機能を提供するのみならず、プログラミング言語層に対してもモバイルオブジェクトの機能を提供できる。他のほとんどの関連研究では、モバイルオブジェクトの機能が言語層に提供されるために、モバイルオブジェクトの機能が言語システムにビルトインされた構造になっており、モバイルオブジェクトの機能を利用するためには、特定のプログラミング言語(しばしば新たに設計された新言語)の使用が不可避となるのに対し、本研究のアプローチでは、さまざまなプログラミング言語にモバイルオブジェクトの機能を導入するために Planet の機能を利用することができる。

「さきがけ研究 21」において新たに開発した重要な機能として、異機種計算機環境の支援が挙げられる。Planet ではモバイルオブジェクトの実行をネイティブコードにて行うことを基本としている。これにより、システムを実現する基本コンポーネントをモバイルオブジェクトとして実現することが可能となっている。アプリケーションコードの生成時に、個々のマシンとは独立な標準表現(Canonical representation)としておき、個々のマシンに移動した際に、そのマシン上で直接実行可能なネイティブコードに変換するコード表現変換器(内部に just-in-time コンパイラを含む)も同時に移動させる。この変換器を、ネイティブ表現から正準表現への逆変換も可能にする双方向変換器として実現することで、異機種計算機環境上のオブジェクトモビリティを達成した。

新しいネットワークソフトウェア技術の探求 プログラミング言語処理系の just-in-time コンパイラおよびインタプリタをモバイルオブジェクト化する研究を行った。前者に関しては既に前項(1)にて述べた。後者については、世界で最も広く使われているスクリプティング言語の一つである Tcl 言語システムのインタプリタのモバイル化を Planet を用いて行った。比較的に大きなアプリケーションといえる Tcl も

(C 言語のソースコード約 56,000 行)、少ないマンパワーでモバイル化が可能であること、また、プログラミング言語のインタプリタをモバイル化することが可能であることを実証した。

just-in-time コンパイラおよびインタプリタをモバイル化するという新しい技法は、OS およびミドルウェア層にてモバイルオブジェクト機能を提供する Planet システム独特の、オリジナリティのある方法である。これらの技法は、本研究者が知る限り、世界的に見ても初めて実現されたものである。この開発により、さまざまなプログラミング言語に、比較的容易にモバイルオブジェクトの機能を導入する一手法を見出したとすることができる。また、プログラミング言語や仮想機械を固定することなしに、モバイルオブジェクト言語システムを実現させる、あるいは、複数のモバイルオブジェクト言語システムを共存させる方法を示したとも言える。

広域ネットワーク環境上での実証 モバイルオブジェクト技術が広域ネットワーク環境上で有用なネットワークソフトウェア構築手法であることは以前より知られているが、有用性のあるアプリケーションを実際に構築し、その効果を定量的に示した研究はほとんど報告されていない。本研究者は、国内の研究者(東大、京大、電総研)および国外の研究者(スウェーデン国ウプサラ大学)の協力を得、広域ネットワーク環境上でモバイルオブジェクトの実験を行う実験環境を構築した。ウプサラ大学における実験設備設置には、「さがけ研究 21」の研究費を活用させて頂いた。Planet システムをこの実験プラットフォーム上で稼働させると共に、現状では静止型のソフトウェアロボットにより実現されている Web サーチシステムの HTML テキストの情報収集を、モバイル型のソフトウェアロボットを用いて実現する方法の提案および実装を行った。そして定量的にその効果を検証した。

#### 自己評価

Planet はネイティブコード実行に基づいたモバイルオブジェクトシステムであるため、当初は他の研究者から異機種環境への対応は容易ではないであろうと言われることが多かった。研究を進めるうちに、ネイティブコード実行を長所とする方法、すなわち、just-in-time コンパイラとインタプリタをモバイルオブジェクトして実現する手法を着想し、その手法が実現可能であることを実証できた。また、Web サーチロボットという、現在、インターネット上で最も広く実用的に活用されている広域ネットワークアプリケーションの一つにモバイルオブジェクト技術を導入することにより大きな実際的な効果を上げられることを実証できた。これらの点から、本研究はある程度の成功を見たといっても差し支えはないであろうと考えている。

本研究においてやり残し、かつ、その重要性は極めて高いと認識している研究課題が、オープンネットワーク環境下におけるセキュリティ問題に関するものである。モバイルオブジェクト技術をクローズなネットワーク環境(利用者が固定され、信頼可能なプログラムのみが実行される環境)で利用するだけならば、モバイルオブジェクト技術は既にある程度の実用性を有していると考えられる。しかし、モバイルオブジェクトが最も威力を発揮するのは広域ネットワーク環境であり、しかも現在、一般に広く使用されている広域ネットワーク環境であるインターネットはオープンなネットワーク環境である。そのような環境でモバイルオブジェクトを活用するために最大の問題となるのは、いかにして、実行する計算機資源側、および、実行されるモバイルオブジェクト側の安全性を確保するかという問題である。セキュリティ保全の問題は、根深い研究テーマであり、モバイルオブジェクトを積極的に活用しないシステムですら、セキュリティ保全は容易でない。今後は、オープンネットワーク環境におけるセキュリティ保全を最重要の研究テーマの一つとして捕らえ、研究に邁進していくことを予定している。

## 領域総括の見解

モバイルオブジェクトの実装を可能にする新しいネットワークソフトウェア基盤の研究に取り組み、モバイル環境を実現する設計、実装、および世界規模の広域ネットワークを用いた評価に至る一貫した結果を出すことに成功したことは高く評価できる。

このようなグローバルネットワークの研究を個人研究として行なうには相当の研究レベルと意欲が必要であるが、加藤和彦は当初から極めて意欲的にこのテーマに取り組み、コンピュータサイエンスで有名なスウェーデンのウプサラ大学をグローバルネットワークのノードとする広域ネットワーク評価を努力を惜しまず遂行し、大きな成果を挙げた。

もちろん、こうした大規模ネットワークのためのソフトウェア基盤の研究は、一朝一夕に完成するものではなく、今後はさらにプロジェクト研究等による展開が必要と考えられるが、加藤和彦はこのさきかけ研究21の3年間で、こうしたプロジェクト研究をリードできるわが国の先端的な研究者としての力量を十分身につけたものと評価できる。

## 主な論文等：

### 査読付き雑誌論文

1. K. Kato, Y. Someya, K. Matsubara, K. Toumura, H. Abe, An Approach to Mobile Software Robots for the WWW, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 11, No. 4, pp. 526-548, July 1999.
2. 吉原潤, 加藤和彦, WWW 検索エンジンのためのインクリメンタルな全文検索インデックス更新方式, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol. 40, No. SIG8(TOD4), pp. 112-125, 1999年11月.
3. 阿部洋丈, 一杉裕志, 加藤和彦, ソースコード変換技術を用いた Java 言語におけるスレッドのモビリティの実現法, 情報処理学会論文誌: プログラミング, Vol. 41, SIG2(PRO 6), pp. 29-40, 2000年3月.
4. 松原克弥, 板橋一正, 森山豊, 染谷祐一, 加藤和彦, 関口龍郎, 米澤明憲. 動的双方向変換技術に基づいた異機種オブジェクトモビリティの実現法, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 6, pp. 1651-1664, 2000年6月.
5. 東村邦彦, 加藤和彦, 松原克弥, アクティブネットワーク技術を用いた多重名前空間の実現法, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 6, pp. 1665-1676, 2000年6月.
6. 吉田雅年, 松原克弥, 加藤和彦. モバイル・メモリセグメントを用いたモバイルプログラミング言語の非抽出型実現方式, 情報処理学会論文誌: プログラミング, 41 巻, SIG 9 (PRO 8)号, pp. 25-36, 2000年11月.

### 審査付き国際会議論文

7. K. Kato, K. Matsubara, Y. Someya, K. Itabashi, and Y. Moriyama, Planet: An Open Mobile Object System for Open Network, Proceedings of IEEE Joint Symposium of First Int. Symposium on Agent Systems and Applications/Third Int. Symposium on Mobile Agents, pp. 274-275, October 1999.
8. K. Kato, K. Matsubara, K. Toumura, S. Aikawa, and Y. Someya, Object Passing and Interaction Mechanism of the Planet Mobile Object System, Object-Oriented Parallel and Distributed Programming (Proceedings of France-Japan Workshop on Object-Based Parallel and Distributed Computation), Hermes Science Publications, pp. 313-329, 2000.



9. K. Kato, K. Matsubara, Y. S., K. Itabashi, and Y. Moriyama, Design of an open mobile object system for open networks. *Parallel and Distributed Computing for Symbolic and Irregular Applications: Proceedings of the International Workshop PDSIA'99*, pp. 323–341. World Scientific, 2000.
10. K. Kato, K. Matsubara, Y. Someya, and M. Yoshida. Mobile substrate: Experiences of middleware-layer object mobility. *Proceedings of 6th ECOOP Workshop on Mobile Object Systems: Operating System Support, Security and Programming Languages*, 15 pages, June 2000.

## 研究課題別研究評価

1. 研究課題名: 利用目的に応じた情報の組織化と自動編集

2. 研究者名: 佐藤 理史

3. 研究の狙い

インターネット上に存在する膨大な情報を有効に使いこなすためには、計算機による支援が不可欠である。本研究は、「自動編集＝編集の自動化」という新しいアイデアに基づき、インターネット上の情報を自動的に整理することにより、情報をわかりやすく、かつ、使いやすくする方法について研究する。

4. 研究結果及び自己評価:

### 研究結果

1) レジュームの自動編集という課題を設定し、これを実現するための方法論としてカテゴリにガイドされた自動編集という方法論を提案した。

2) 上記の方法論をサーチエンジンの高度化に応用し、探索結果をレジューム形式で出力するサーチエンジンを、3つのカテゴリ(住所情報、人物情報、用語説明)を対象に実現した。これらのシステムは、いずれも、ウェブから素材情報を探し出し、それらを整理(パッケージング)することにより、典型的な情報要求(「住所を調べたい」、「ある人物について知りたい」、「用語の意味を知りたい」)に対して、その答えと詳しい情報へのポイントを提示することができる。これらのシステムの実現には、情報収集、情報抽出、情報分類、情報統合等の技術が必要であり、これらの技術の開発と統合を行なった。

3) レジュームの自動編集を利用してウェブディレクトリを自動的に作成する方法を示し、水族館、動物園、美術館等の特定カテゴリのウェブディレクトリを自動作成するシステムを実現した。また、これとは別に、有用な情報源を探し出し、そこから得られる情報を再組織化することによってウェブディレクトリを作成する方法を明らかにし、日本の地域情報ディレクトリを自動生成するシステムを実現した。

4) これらのシステムの作成を通して「編集と何か」について考察し、編集の説明理論として「編集＝デパッケージング＋パッケージング」という考えを示した。本研究で作成した5つのシステムで行なわれている編集は、いずれもこの考え方に基づいて明快に説明できる。

### 自己評価

1) この3年間の研究は、紆余曲折があったものの、「情報の自動編集」というアイデアの具体化とその実現手法の検討、および、デモンストレーションシステムの実装などを行なうことができた。これらにより、自動編集という新しい研究領域の大枠を示せたのではないかと考えている。その意味において、本研究は、十分な成果をあげることができた。

2) 自動編集の具体的課題は、計画時の予定を変更して、研究途上で「レジュームの自動編集」という野心的な課題に見直したが、これが結果的に研究を大きく前進させることとなった。本研究によって、レジューム自動編集の第一段階(「切り貼りによる編集」)は達成できた。しかしながら、本課題の完全な達成のためには、より高度な編集(「加工による編集」)の自動化が不可欠である。これがこれからの研究目標となる。

3)本研究で作成した自動編集システムは、単なるデモンストレーションのためだけでなく、いずれも、現在のニーズを考慮し、実際的に使えるシステムを指向したものである。作成したシステムは、さらに改良してソフトウェアシステムとしての完成度を高めれば、いずれも実用システムとして利用できると考えられる。

4)本研究の目に見えない重要な成果は、編集に対する理解が大きく進んだ点にある。「編集＝デパッキング＋パッキング」と考え方により、自動編集システムの構成が明確になり、ソフトウェアシステムの部品化が促進されることになった。

5)計画時には、自動編集の要素技術として「テキストの言い換え」の自動化についての研究を予定していたが、この点については、研究はそれほど進まず、不十分な成果しか上げることができなかった。「加工による編集」の自動化を実現するためには、言い換えの自動化が不可欠であり、今後、この研究に再びチャレンジする予定である。

#### 5. 領域総括の見解:

大規模情報の検索と編集というテーマに取り組み、大規模カテゴリーにガイドされた自動編集という方法論を提唱、編集という多面的な活動に一貫性を与えただけでなく、実際に自然言語データベースの検索や編集に利用できるシステムを設計、実装し、日本の地域情報ディレクトリを自動生成・編集することに成功したことは高く評価できる。

自動編集や自動要約のためのコンピュータシステムは、大量の情報が Web のホームページ等で流されるようになった今日、多くの人々にとって喫緊に必要なシステムとして研究の的になりつつあるが、一方で基礎から実用化まで相当の研究レベルが必要とされるテーマであった。佐藤理史はさきがけ研究21に採用される以前からきわめて創造的でアクティブな若手の自然言語処理研究者として知られていたが、「情報と知」領域第1期生への応募時にこの重要なテーマを自ら選び、採用されて3年の間、果敢に研究に取り組んで、編集という活動の理論的な基礎から実用化システムのプロトタイプ設計、実装、評価に至るまで、広範にわたって極めて優れた成果を挙げた。

第1期生の研究期間を通じて見ていたところでは、佐藤理史は、この3年間の成果を踏まえ、知的情報処理および自然言語関連分野においてさらに新たな研究プロジェクトをリードしていくことにより、多くの新しい成果を世にもたらすことは確実であり、そうした活動を通してわが国を代表する研究者になることを確信している。

#### 6. 主な論文等:

Satoshi Sato and Madoka Sato. Rewriting Saves Extracted Summaries. In *Intelligent Text Summarization*, Technical Report, SS-98-06, American Association for Artificial Intelligence, pp76-83, 1998.

佐藤理史. 論文表題を言い換える. 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.7, pp2937-2945, 1999.

Satoshi Sato and Madoka Sato. Toward Automatic Generation of Web Directories. *Proc. of International Symposium on Digital Libraries 1999 (ISDL '99)*, pp127--134, Tsukuba, September 28-29, 1999.

Satoshi Sato. Automated Editing of Hypertext Résumé from the World Wide Web. *The 2001 Symposium on Applications and the Internet (SAINT-2001)*, San Diego, USA, Jan. 9-11, 2001. (in press)

佐藤理史. ワールドワイドウェブを利用した住所探索. *情報処理学会論文誌*, Vol.42, No.1, 2001. (掲載予定)

## 研究課題別研究評価

1. 研究課題名: 分散実時間システムにおける時間概念の抽象化および形式化

2. 研究者名: 田辺 誠

3. 研究の狙い:

実時間システムは「締め切りを守って」仕事をする必要があるため、そのプログラミングにおいては、従来、保守性や可読性よりもどちらかという実行効率に重点が置かれてきた。しかし、高性能なコンピュータが安価に手にはいる現在、計算環境に余裕がある場合も少なくなく、その場合、コンピュータよりも人にやさしいプログラミング環境を整備することが必要になる。すなわち、単に「速い」プログラムではなく、「時間の使い方についてよくわかっている」プログラムのための基礎理論が必要な時代が来ると考えられる。本研究では、時間に関して我々が日常的に持っている自然な感覚に知恵を借り、これらの形式化を目指すことにより、時間の持つさまざまな側面の抽象化を試みた。

4. 研究結果及び自己評価

研究結果: 時間の持ついくつかの側面を表現するための形式的体系を与えた。

1) 資源としての時間: 実行時に消費される時間について見積もる際の操作と、線型論理における計算資源に対する操作との類似性に着目し、線型論理を拡張し、時相線型論理体系を構築した。また、この体系と並列実時間計算モデルである時間ペトリネットとの関連について研究し、体系の論理式が、時間ペトリネットの遷移に関する仕様記述に、シーケントが仕様の変換に、シーケントの導出が、仕様を満たす遷移の導出に、それぞれ対応することがわかった。

2) 「証拠」としての時間: 直観主義論理においては、構成的な証明を持つ論理式のみが「正しい」と考えられる。すなわち、具体的な証拠を持つ言明のみを真であるとするのである。本研究では、エラー検知におけるログと直観主義体系(に時間的拡張を施したもの)との関連付けを行なった。まず、エラーパターンの表現形式を考案し(時間イベントパターン)、このパターンの意味論が直観主義時相論理の意味論と深く関係していることを示した。

3) 複数の流れを持つ時間: 実時間計算は、一般に複数のプロセスが並列に動作することによって行なわれる。複数品目のレシピからなる料理や、ポーズボタンを押される可能性のあるゲームを例として考えると、それぞれの仕様を記述する際に意識する時間の流れは、実際の物理的な時間の流れとは異なる。本研究では、時間と資源の関係を表すプロセス代数 ACSR を拡張し、プロセスが独立した時間軸を持ち、かつ、それぞれプロセスの持つ時間軸同士が緩やかに関連づけられる体系について考察を行なった。

自己評価

それぞれの理論的成果を個別に評価すると、それぞれが時間の持つ特徴に対する知見を与えてくれたと考えている。特に、時相線型論理と時間ペトリネットの関連に関しては、研究当初は、論理式はペトリネットの計算途中の状態に、シーケントは状態遷移に対応すると考えていたが、研究が進むにつれ、この予想とは異なる対応関係が発見された。また、直観主義時相論理とエラーログとの関係については、エラーが起こったことの具体的な証拠物(ログ)に対応する論理式を二重否定すると、「エラーが起こった」という状態記述に対応する論理式が変わることを、興味深く感じた。

しかしながら、研究構想時には、これらの「各論」を比較・分類するための「総論」的な形式体系を作ることを将来目標にかかげていたが、着手に至らなかった(正確には、いくつかの方向からアプローチを試みたが、鉱脈を掘りあててに至らなかった)ことが残念である。実際のプログラミングに応用することを考えると、着目する側面によってプログラミング環境を変えることはナンセンスであるので、一つの体系によってさまざまな側面を表現することが必要となる。これについては、それぞれの表現の複雑度を小さくする工夫と共に今後の課題として挙げられる。

#### 5. 領域総括の見解:

これまで研究の進んでいなかった時間計算モデルの研究に取り組み、時相線形論理、直観主義時相論理、実時間計算用プロセス代数等さまざまな論理体系を拡張して時間計算の新しいモデルの構築とスケジューリングへの応用に成功した。特に、新しい時相線形論理体系の定式化を行なうとともに、その体系とペトリネットモデルとの論理的関係づけに成功したことは、今後の時間計算モデル研究に大きな影響を与えるものと考えられる。

第1期生の研究期間における田辺誠の研究で特に注目されるのは、他の研究者がどちらかといえば実際にシステムの設計や実装を指向していたのに対して、当初は実際に十分な成果が挙がるかどうか懸念した領域アドバイザーもいた中で理論研究を着実かつ誠実に進め、大変充実した結果を出したことである。このことは、さきがけ研究21の趣旨である独立した研究者の育成という観点からきわめて高く評価できるものである。当初の計画に含まれていた時間論理の統合的体系を生み出すことは困難なまま研究期間が終了したが、個別の成果としては十分な結果を出すことができたと高く評価できる。

田辺誠が今後、わが国では研究者層の薄い理論的コンピュータ科学研究者として、この3年間の成果と経験を生かし、時間計算のみならずさまざまな理論的テーマにおいて、わが国をリードする研究者としてさらに充実した活動をしていくことを願っている。

#### 6. 主な論文等:

- ・泉田 大宗, 川勝 則孝, 田辺 誠, 中島 玲二, and 林 良生. 時間イベントパターン. コンピュータソフトウェア, Vol.17, No.5 (2000)
- ・泉田 大宗, 川勝 則孝, 田辺 誠, 中島 玲二, and 林 良生. Recognizing timed event sequences -- formalism, machines and applications -- (extended abstract). 日本ソフトウェア科学会第15回大会 (1998)  
参考論文
- ・M.Tanabe. Media object semantics for temporal linear logic. MMM'97, the 4th International Conference of MultiMedia Modeling. World Scientific (1997)

他 口頭発表 3件

## 研究課題別研究評価

1. 研究課題名: 創造的な情報デザインの協調的支援技術に関する研究

2. 研究者名: 中小路 久美代

3. 研究の狙い:

本研究では、ドキュメント構築や設計、マルチメディアオーサリング、ビデオデータの理解などといった知的創造活動を「Collective Creation: 他者が生成／外在化した『表現』を利用することによる個人の知的創造活動」として捉え、それを支援するインタラクティブシステム、およびそのための汎用的枠組みを構築した。モノをつくるという創造活動のプロセスそのものを人間がより楽しくより有意義に感じることができるようなインタラクティブシステムのデザインを目指すものである。

4. 研究結果及び自己評価:

本研究ではまず、認知科学、設計学、人工知能、意匠工学などの分野における既存研究に基づき、知的創造作業において人間がどのように思考し振舞うかを理解し、モデル化をおこなった。広く文献調査をおこなうとともに、研究の早期段階において下記に述べる国際ワークショップを実施したことによって、研究の骨格となる Collective Creativity および Collective Creation という概念を構築することができた。この概念を基として、いくつかのドメイン(応用問題領域)に的を絞り、Collective Creation を支援するプロトタイプシステムの構築を行なった。これらのシステムは、

- 知的支援によりシステムが能動的にユーザを支援するもの
- 思考を阻害しない認知ツールとして受動的にユーザに外在するメディアを提供するもの
- 情報とその可視化の提供によりユーザを支援するもの

というスペクトラムの中でそのインタラクションの特徴を有するシステムとなった。これらの構築したシステムを用いたユーザ観察により、問題領域に依存しない、タスク横断的なインタラクションの枠組みが存在することを知見として得た。本研究では、日頃関心のある研究者が一堂に会する機会の少ない学際的なトピックがテーマであったため、研究活動の一部として国内外より各方面の識者を招聘し、平成 10 年 3 月および平成 12 年 8 月の 2 回にわたり国際ワークショップを開催した。それぞれ 2 日ずつの開催期間中に、それぞれ 10 名余りの研究者が、各 1 時間の割り当て時間の中で自己の研究やアプローチを紹介するとともに自由に討論をおこなった。第一回目は本研究の方向性をガイドする役割として、第二回目は本研究の成果を播種し今後の展開の可能性を探求することを目的として、共に中身の濃い、充実したワークショップとなった。それぞれのワークショップ参加者の方々からは大変な好評を博し、成功裏に終了した。第二回のワークショップをきっかけとして、2001 年 3 月に開催される大規模なヒューマンコンピュータインタラクション分野の国際会議 CHI2001 (ACM 主催)での併設ワークショップ開催の運びとなり、本研究をシーズとした進化的な研究のネットワークが構築できたことは、成果として評価できると考える。ただ残念なことに、第一回目のワークショップの結果を広く参加者以外にも disseminate することができなかった。第二回目のワークショップではこの経験を活かし、ワークショップの内容そのもののビデオテープをミニムービーとして編集し Web page で公開をおこなった。

今後は、本研究で得た知見を基として、タスク横断的な創造性支援の枠組みをパターン化し、HCI デザインへと適用するという、若手研究者研究推進事業「協調と制御」領域における研究へと発展させ

る予定である。

#### 5. 領域総括の見解:

コンピュータを人間にとって有用な道具とするためのインタラクティブシステムの研究に取り組み、Collective Creativity および Collective Creation という新しい概念を提唱するとともに、ドキュメントやマルチメディアデータの設計や理解といった知的創造活動における複数の人間の協調的な創造的思考を支援するシステムの構築に成功した。

この研究は、これからの情報社会における生活、教育等にきわめて重要な学術的・技術的基盤を与える可能性がありながら、あいまいな対象であるためなおざりにされてきたテーマに対して、果敢に挑戦したものである。中小路久美代はコロラド大学において認知科学とヒューマンコンピュータインタラクションの研究に従事していた経験をも踏まえ、「情報と知」領域への応募時からこのテーマに注目すると共に対象の困難さを熟知し、研究方法論として新しい概念の創造とそれに基づくシステム構築の展開、特に応用領域を絞って、しかも具体的なプロトタイプシステムの構築に心がけてきたことで、大きな成果を挙げることができた。また、協調的創造活動支援の実験を兼ねてインテンシブな国際ワークショップを中小路久美代が中心となって3年間に2回開催し、おおきな成功を納めたことも特記すべきことであった。

もとより協調的創造活動の支援という広大な研究分野は、今後中小路久美代をはじめ多くの研究者によって展開されていくべき重要な分野であり、特に中小路久美代はこの3年間の業績と経験を生かすことによって、この分野あるいはヒューマンコンピュータインタラクション関連分野について、わが国の研究をリードしていくことができるものと確信している。

#### 6. 主な論文等:

- K. Nakakoji, M. Ohira, Y. Yamamoto, Computational Support for Collective Creativity, Knowledge-Based Systems Journal, Elsevier Science, 2000 (in print).
- K. Nakakoji, Y. Yamamoto, B.N. Reeves, S. Takada, Two-Dimensional Positioning as a Means for Reflection in Design, Design of Interactive Systems (DIS'2000), ACM, New York, NY, pp. 145-154, August, 2000.
- 大平雅雄, 山本恭裕, 蔵川圭, 中小路久美代, EVIDII: 差異の可視化による相互理解支援システム, 情報処理学会論文誌, 「知識と情報の共有」特集号, Vol.41, No.10, pp.2814-2826, October, 2000.
- 山本恭裕, 高田眞吾, 中小路久美代, Representational Talkback の増幅による「書いてまとめる」プロセスの支援, 人工知能学会論文誌, Vol.14, No.1, pp.82-92, January, 1999.

など英文論文誌 4 件、日本語論文誌 3 件、国際会議 14 件、他研究会等 19 件

計: 40 件



## 研究課題別研究評価

1. 研究課題名: 並列分散制御用実時間アーキテクチャの研究

2. 研究者名: 山崎 信行

3. 研究の狙い:

本研究では、OA や FA の制御、インテリジェントビルディングの制御、超分散センサの制御、各種ロボットの制御、マルチメディア処理等の様々な並列分散リアルタイム処理を実現可能にする、リアルタイム通信ネットワークとリアルタイム処理を融合したアーキテクチャの研究を行なう。

4. 研究結果及び自己評価:

### 研究結果

(1)以下の機能・特徴を有した並列分散制御用途で分散管理型の実時間通信リンク(レスポンスリンク)の設計・実装を行った。その結果、 $Total\ latency = 2\ \mu\ sec\ (overhead) + 1[\mu\ sec/hop] \times n[hop]$  となり、非常に高いリアルタイム性能を実現した。

- ・データリンク(ソフトリアルタイム用)とイベントリンク(ハードリアルタイム用)を分離してソフトリアルタイム通信とハードリアルタイム通信を同時に実現可能にした。

- ・パケット長を予測可能なように固定にし、高スループットが要求されるデータリンクはパケットサイズを大きくし(64B)、低レイテンシが要求されるイベントリンクはパケットサイズを小さくし(16B)、ハード/ソフト・リアルタイムを実現した。

- ・データとイベントを独立してルーティングし、柔軟性を実現した。

- ・通信パケットに優先度を付け、高い優先度のパケットが低い優先度のパケットを通信ノード毎に追い越しを行う機能を実現し、細粒度のリアルタイム通信を実現した。

- ・全く同じネットワークアドレス(送信元アドレスと送信先アドレス)を持つ通信パケットの経路を優先度によって別々に設定及び変更することによって専用回線や迂回路を実現し、ダイナミックなリアルタイム通信を実現した。

- ・通信パケットの優先度を通信ノード毎に付け替え、通信パケットの追い越しやルーティングを分散管理型で制御可能にした。

- ・トポロジーフリーを実現して、どのようなシステム構成も可能にした。

- ・ハミング符号、Bit-Stuffing、NRZI、DPLL、同期フレーム等の要素技術を組み合わせてハードウェアによる前方エラー訂正を行い、再送を不要にし、リアルタイム通信をサポートした。

(2)以下の機能・特徴を有した実時間処理向けのマルチスレッド型プロセッサの設計・実装を行った。

- ・複数命令同時イシューのスーパー scaler プロセッサをベースにして、複数レジスターセットに各々異なるスレッドコンテキストを保持し、それらをマルチパイプラインで複数スレッドの同時実行を可能にするマルチスレッディングプロセッサを実現した。

- ・オンチップレジスターセット上のコンテキストスイッチを1クロックで可能にした。

- ・ハードウェア資源を考慮し、ファンクショナルユニットをバーチャルファンクショナルユニット(VFU)として設計・実装することを実現した。各パイプラインはVFUにより構成され、各VFUは複数のパイプラインに共有されている。

・スレッド毎に優先度を付加し、高い優先度のスレッドが高い割合でパイプラインを使用する。また、VFU の使用に関して衝突があった場合、優先度の高いスレッドが VFU を使用することを実現した。これらの機能によって、ハードウェア資源を抑えながら高い性能を実現した。

・各ファンクショナルユニットをパイプラインチェイニング機構を用いて柔軟に結合し、マルチメディア処理などの演算を柔軟に高速化することを実現した。

(3)上記(1),(2)の機能・性能を有した RNPU をシステムオンチップとして実現した。

#### 自己評価

本研究テーマは、リアルタイムをキーワードにして通信と演算処理を融合した RNPU のアーキテクチャを考案し、システムオンチップとして設計・実装・評価するというものであった。

リアルタイム通信に関しては、ハードリアルタイム通信とソフトリアルタイム通信の両方を実現するリアルタイム通信規格「レスポンスリンク」を設計・実装した。また、リアルタイム通信の国際標準を狙い、レスポンスリンクを ISO/IEC SC25 に提案して、現在標準化作業を行っている。単に設計して評価するだけではなく、リアルタイム通信の国際規格提案まで進めることができたので、目標以上の成果が出たのではないかと考えている。

リアルタイム処理(演算)に関しては、マルチスレッディングアーキテクチャに VFU やパイプラインチェイニング等の要素技術を考案・応用することによって、ゲート数を抑えながら柔軟な演算機構を実現しリアルタイム処理性能を向上することができた。パイプラインチェイニング機構によって任意のファンクショナルユニットを結合することができ、柔軟な複合演算を実現できた。また、1 クロックでコンテキストスイッチを可能にし、優先度に従いコンテキストスイッチを行いながら複数スレッドを同時に動作させることを可能にした。

ただし、様々な理由(台湾地震、内外価格差、納期等)から RNPU を実チップとして実現できなかったのは残念である。

#### 5. 領域総括の見解:

ロボットや構造物等の制御、さまざまなマルチメディア処理システム等に有効に利用できる、通信と演算処理両方にサポートするシステムオンチップのリアルタイムプロセッサアーキテクチャの設計研究に取り組み、実時間通信リンク(国際標準化がほぼ確実となっている)、マルチスレッド型実時間プロセッサ等の設計と実装に成功した。オンチップのリ

アルタイムプロセッサアーキテクチャの設計は、IT の発展を国策としつつあるわが国では最も重要な技術分野の一つであるにもかかわらず、こうしたシステムをまともに設計、実装できる若手研究者はわが国では払底しており、その中であって、さきがけ研究21「情報と知」領域における山崎信行の研究成果は、十分世界に誇りうるものとして極めて高く評価できる。

山崎信行の研究者としての特徴は、ハードウェアとソフトウェアの設計能力ともに極めて優れ、および強い意欲と冷静な判断力に溢れていることであり、3年間という短い研究期間に大規模なプロセッサアーキテクチャをまったくの個人で設計、実装したこと自体驚くべきことであった。しかも、特に実時間通信リンクについては国際標準化がほぼ確定

しており、わが国の情報技術で国際標準化までに至った技術はほとんどないことを考慮すると、山崎信行が「情報と知」領域の研究者として得た成果は、さきがけ研究21の範囲のみならず、わが国全体の情報関連研究としても特筆すべきものである。

山崎信行が、今後さらに独自の研究プロジェクトをリードする等の経験を積むことによって、新たに多くの成果をわが国にもたらすとともに、それを通じてわが国を代表するオンチッププロセッサアーキテクチャの研究者になることは確実である。彼のテーマは、わが国の産業界に直接の発展をもたらす可能性の高いテーマである。したがって、わが国における情報技術の発展のためにも、さきがけ研究21における山崎信行の研究期間が終了した現在、彼がリードできる新たな研究プロジェクトが早急にスタートできることを望みたい。

#### 6. 主な論文等:

[1]山崎 信行, 松井 俊浩, 並列分散リアルタイム制御用レスポンスプロセッサ, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No2・2001(掲載予定)

[2]Nobuyuki Yamasaki, Design and Implementation of *Responsive Processor* for Parallel/Distributed Control and Its Developing Environment, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.13, No.3, 2001 (to appear)

[3]山崎 信行, 並列分散実時間制御システム, 電気学会研究会資料 産業計測制御研究会, Vol. IC-00-24~29, pp.19-24, March, 2000

[4]山崎 信行, 並列分散実時間システム, 日本ロボット学会第 60 回講習会 ~ロボット工学セミナー~ ネットワークとロボティクス, pp.39-49, Nov, 1999

[5]Nobuyuki Yamasaki and Toshihiro Matsui, *Responsive Processor* for Parallel/Distributed Real-Time Processing, Proceedings of COOL Chips II, pp.153-167, 1999

[6]山崎 信行, 並列分散制御用レスポンスプロセッサの FPGA を用いた設計及び評価, FPGA/PLD Design Conference & Exhibit CONFERENCE 論文集, pp.1-8, 1999(優秀論文賞受賞)

[7]山崎 信行, 並列分散リアルタイム制御用高速応答プロセッサの提案, オーム社エレクトロニクス, pp.58-61, Vol.3, 1998

#### 主要論文別刷一覧:

[1]山崎 信行, 並列分散実時間制御システム, 電気学会研究会資料 産業計測制御研究会, Vol. IC-00-24~29, pp.19-24, March, 2000

[2]Nobuyuki Yamasaki and Toshihiro Matsui, *Responsive Processor* for Parallel/Distributed Real-Time Processing, Proceedings of COOL Chips II, pp.153-167, 1999

[3]山崎 信行, 並列分散制御用レスポンスプロセッサの FPGA を用いた設計及び評価,

FPGA/PLD Design Conference & Exhibit CONFERENCE 論文集, pp.1-8, 1999(優秀論文賞受賞)

[4]山崎 信行, 並列分散リアルタイム制御用高速応答プロセッサの提案, オーム社エレクトロニクス, pp.58-61, Vol.3, 1998