

「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」

平成 15 年度採択研究代表者

加藤 和彦

(筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授)

「自律連合型基盤システムの構築」

1. 研究実施の概要

膨大性, 多様性, 開放性を有する利用環境において, 自律性と複合性を複合的に構成することができる情報基盤システムの設計原理の確立, 同原理に基づいたシステム実装, 及びその有効性の検証に関する研究を行う. 統一的な設計原理として, 仮想計算環境の原理について研究を行い, 物理環境とは独立に自律性を有する仮想計算環境を構成し, さらに複数の仮想計算環境を連合させ, 自律性を有する計算環境を構成可能とする.

本研究は, 自律連合システム, 仮想計算環境, データインターオペラビリティ, 分散コンピューティングの言語と検証という 4 つの研究分野により構成されている.

自律連合システムに関する研究では, 仮想計算機を高速転送する技術, 自律した複数サイトが連合することによってインターネット上のサービス提供を持続可能するサステナブルシステム, 自律したサイト間のアクセス制御技術の開発を進めている. また, 仮想ネットワークの制御や仮想インターネット実験プラットフォームの開発も行っている.

仮想計算環境に関する研究では, ネットワークで接続された複数の計算機の連合により, 仮想的な共有メモリ並列計算機を構成する技術, 異機種間計算環境移動技術の開発を進めている.

データインターオペラビリティに関する研究では, オープン環境における情報源連合を目的とし, シームレスかつセキュアなデータ相互運用を実現するための情報統合基盤, ならびに知識発見・知識獲得を用いた情報源連合に関する研究開発を行っている.

分散コンピューティングの言語と検証に関する研究では, 自律性を持つソフトウェアシステムが交換するデータの安全性や文法的妥当性を静的に検査する研究, および, 高度な論理推論や記号計算アルゴリズムを組み込んだ, 複数の自律言語システムの連合によって構築されたシステムの開発を行っている.

2. 研究実施内容

自律連合システムグループは, 以下の五点に関する研究を行った. 第一に, 仮想機械を高速に転送する要素技術を開発した. 一般に大容量となる仮想機械のイメージファイル(典型的には 1 ギガバイト程度)を効率的に転送するために, ベースイメージとの差分を作成・転送し, 元のイメージ

を復元する技術、実行時に必要なブロックのみを転送するオンデマンド転送技術、そして、事前にブロック間のアクセスパターンを記憶し、実行時に必要とされるブロックを予測しながらストリーム転送する技術を開発した。第二に、前述の仮想機械を高速に転送する技術を活用し、複数の自律したサイト間で仮想機械のイメージを共有し、コンピュータ機器の故障のみならず、ネットワークの不具合やソフトウェア設定の不具合が起きてもなおサービス提供を持続するサステナブルシステムの開発を行った。第三に、サステナブルサービスの実現に向けた広域分散ストレージシステム Sustor の設計を行った。Sustor は、データの効率的な拡散、および、大規模障害に対する耐性を向上という二つの目標を実現するために、スモールワールドモデルに基づいた論理ネットワークを広域分散ネットワーク上に構築する。第四に、自律性と連合性を実現するためのアクセス制御の手法として、ケーパビリティに基づくものに着目し、DNSとルータを用いて内部からインターネット上のサービスの利用を制御する仕組みを実現した。さらに、ケーパビリティに基づくアクセス制御の仕組みを備えたアプリケーションの設計を行った。第五に、仮想計算環境において、インターネットを部分的にエミュレートする機能を開発した。これは、仮想計算環境で実行されるサーバには、クライアントの動作を、クライアントにはサーバの動作を代替するものである。具体的には、ある計算環境で行われたネットワーク通信を記録し、別の計算環境において再生することで実現している。これにより、ある計算環境を運用したまま、他の環境で新しいプログラムや既存のプログラムの更新の結果をテストすることが容易になった。

仮想計算環境グループは、自律連合型基盤システムを構成する先進的な仮想計算環境を構築するべく、以下の研究を行った。第一に、仮想マルチプロセッサの実装と評価を進めた。仮想マルチプロセッサはネットワークでつながった複数の計算機を連合させることにより、一つの仮想的な共有メモリ並列計算機を実現するソフトウェアである。本年度の研究により、8 台の PC 上に仮想的な 8-way 共有メモリ並列計算機を稼動させることに成功したほか、実行性能も大きく向上させた。ベンチマークを用いて性能評価を行ったところ、高い台数効果を確認できた。第二に、CPU エミュレータを利用した計算環境移動システムの機能拡張と性能評価を行った。本システムは、異なる CPU や異なる OS 間での計算環境の移動を可能にし、多様性を有する計算環境における自律的处理の実現を支援する。本年度は、仮想計算環境の転送に暗号化通信を導入して安全性を向上させる拡張などを組み込むとともに、本システムと競合システムの性能評価を行った。第三に、SoftwarePot およびその支援システムの機能拡張を検討し、複数の拡張案を得た。具体的には、仮想インターネットの構築を支援する拡張や、仮想計算環境に配置する資源の集合を決定する作業を容易にする拡張の検討を行った。

データインターオペラビリティグループは、オープン環境における情報源連合を目的とし、シームレスかつセキュアなデータ相互運用を実現するための情報統合基盤、ならびに知識発見・知識獲得を用いた情報源連合に関する研究開発を行った。データ相互運用・情報統合基盤に関しては、セキュリティを考慮した情報源連合技術の研究開発を推進し、データベースコンテンツを XML にラッピングする際、XML レベルのアクセス制御ポリシーを考慮して効率的な処理を行う方式を開発した。また、必ずしも信頼できないサイトが存在する

分散環境における複数情報源の統合を対象として、各情報源のセキュリティポリシーを考慮した独自のメディエーション処理方式を開発した。さらに、XML を用いたデータ相互運用に関する研究の一環として、今年度から P2P ネットワーク環境における XML データの分散管理方式の研究を開始した。これは、構造とコンテンツに関する 2 種類の分散ハッシュ表を利用するもので、従来の方式では不可能だった多様な問合せに対応することができる。知識発見・知識獲得を用いた情報源連合に関しては、データベースと Web の連繫利用に着目し、特定の地域や分野に関するデータベース中のデータに関連する Web ページ群を抽出するための Web クローリング手法を開発した。また、探索の結果発見されたページ群からレコード情報を抽出するための手法の開発も並行して行った。

分散コンピューティングの言語と検証グループは、自律性を持つソフトウェアシステムが交換するデータを文字列と考え、その文字列の安全性や文法的妥当性を静的に検査する研究を行った。具体的には、プログラムが出力する文字列を静的に解析し、文脈自由文法を用いて近似するプログラム解析を設計し、サーバサイドスクリプト言語 PHP に対する解析器として実装した。さらに、解析結果を用いて、プログラムが出力する文字列が文法的に正しい XHTML かを検査するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムを用いてオープンソース PHP プログラムを検査し、妥当性に関するプログラムの誤りを発見することに成功した。Web プログラミングのモデル化の一環として、高度な論理推論や記号計算アルゴリズムを組み込んだコンピュータ折り紙システムを構築した。仮想的に折紙の作品を創作でき、さらに、折紙の持つ幾何学的な性質を検証できる。このシステムは、Web によるインターフェイスを持っており、Java, Mathematica, HTML などの言語を用いて構成されている。

仮想ネットワーク環境グループでは、自律連合システムの通信基盤となる仮想ネットワークの制御と、それを用いた情報基盤に関する研究を行った。第一に、仮想化されたネットワークと物理ネットワークのトポロジーミスマッチに関してその現象と傾向を明らかにした。具体的には、実ネットワークのトラフィック観測により、比較的自由度の小さい仮想化ネットワークにおいても 10～15%の冗長トラフィックが出ていることが確認された。第二に、そのようなトポロジーミスマッチを解消するための基盤技術の開発を進めた。これは、観測したトラフィック情報を元に通信の中継点を最適化する通信基盤である。第三に、仮想ネットワークで接続された環境での認証技術や情報の蓄積・複製の機構について検討し、課題の検討を行った。

自律的に起動可能なネットワーク OS グループでは、自律連合システムの OS 起動法として HTTP サーバからブロックデバイスイメージを取得し、ルートファイルシステムとして利用できる方式を作成した。HTTP サーバは国内 8 サイト、海外 10 サイト(米国 6 サイト、英国 1 サイト、フランス 1 サイト、スペイン 1 サイト)を用意して起動実験を行い、レンテンシの影響、キャッシュの性能などを測定し、実用可能性を調べた。

仮想ネットワークグループは、単一ノードの仮想ネットワークサーバーコンピュータ上で仮想レイヤ 2 スイッチおよび仮想レイヤ 3 ルータを任意個組み合わせたトポロジを設計・自動構築し、実際に仮想ネットワーク上で IP 通信が行えるようになった。現在、これを複数ノードに拡大し、スケーラビリ

ティを持たせることにより, 単一ノードだけでは CPU およびメモリの容量限界によって構築することができなかった, 極めて巨大な IP ネットワークトポロジを構築することを可能とするシステムのプロトタイプを開発中である.

3. 研究実施体制

「自律連合システム」グループ

- ①研究分担グループ長: 加藤 和彦 (筑波大学、教授)
- ②研究項目: 自律連合型分散システムの構築

「仮想計算環境」グループ

- ①研究分担グループ長: 米澤 明憲 (東京大学、教授)
- ②研究項目: 自律連合型基盤のための仮想計算環境

「データ・インターオペラビリティ」グループ

- ①研究分担グループ長: 北川 博之 (筑波大学、教授)
- ②研究項目: 自律連合型基盤のためのデータ・インターオペラビリティと自律連合型情報システム

「分散コンピューティングの言語と検証」グループ

- ①研究分担グループ長: 井田 哲雄 (筑波大学、教授)
- ②研究項目: Web プログラミングのモデル化
スクリプト言語のプログラム解析
Web プログラミング言語の設計と実装

「仮想ネットワーク環境」グループ

- ①研究分担グループ長: 廣津 登志夫 (豊橋技術科学大学、助教授)
- ②研究項目: 自律連合型基盤のための仮想ネットワーク

「自律的に起動可能なネットワーク OS」グループ

- ①研究分担グループ長: 須崎 有康 (産業技術総合研究所、主任研究官)
- ②研究項目: Internet からの OS 起動に関する研究

「仮想インターネット」グループ

- ①研究分担グループ長: 登 大遊 (ソフトイーサ株式会社、代表取締役)
- ②研究項目: 仮想インターネットの設計と実装

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

（１）論文（原著論文）発表

- Shinichi Suzuki, Yasushi Shinjo, Toshio Hirotsu, Kazuhiko Kato, Kozo Itano .
“Capability-based Egress Network Access Control by using DNS Server”, Journal of Network and Computer Applications, (JNCA), 12 pages (2006). (In printing)
- 金田 憲二, 大山 恵弘, 米澤 明憲. “単一システムイメージを提供するための仮想マシンモニタ”, 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, Vol. 47, No. SIG 3(ACS 13), pages 27-39, 2006 年 3 月
- Yoshinori Kobayashi, Eric Y. Chen, Yoshihiro Oyama, Akinori Yonezawa. “Protecting Web Servers from Octopus Attacks”, In Proceedings of the 2006 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2006), Phoenix, USA, January, 2006
- Yoshihiro Oyama, Koichi Onoue, Akinori Yonezawa. “Speculative Security Checks in Sandboxing Systems”, In Proceedings of The 1st International Workshop on Security in Systems and Networks (SSN2005), IEEE Computer Society Press, Denver, USA, April 2005
- Jianwei Zhang, Yoshiharu Ishikawa and Hiroyuki Kitagawa. “Extended Link Analysis for Extracting Spatial Information Hubs”, Proc. International Workshop on Challenges in Web Information Retrieval and Integration (WIRI 2005), pp. 17-22, Tokyo, Japan, April 2005
- 品川徳秀, 北川博之. “セキュリティを考慮した RDB の XML 出版の提案”, 日本データベース学会 Letters, Vol. 4, No. 1, pp. 109-112, 2005 年 6 月
- Jianwei Zhang, Yoshiharu Ishikawa, Sayumi Kurokawa, and Hiroyuki Kitagawa .
“LocalRank: Ranking Web Pages Considering Geographical Locality by Integrating Web and Databases” Proc. 16th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2005), LNCS 3588, pp. 145-155, Copenhagen, Denmark, August 2005
- Yasuhiko Minamide . “Static Approximation of Dynamically Generated Web Pages” Proceedings of the 14th International World Wide Web Conference, Chiba, Japan, May 10-14, 2005, P. 432-441
- Tetsuo Ida, Mircea Marin, Hidekazu Takahashi. “Computational Origami of a Morley’s Triangle” The 4th International Conference on Mathematical Knowledge Management. LNAI 3863, 2005, pp. 267 - 282

（２）特許出願

H17 年度出願件数：0 件（CREST 研究期間累積件数：2 件）