

「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およ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四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と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、複数の計算機を連合させて利用するための仮想マシン技術および OS のインタフェースを仮想化することにより軽量な仮想計算環境を実現する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 5 点に関する研究を行った。

第一に、仮想機械のスナップショット作成を高速化する技術を開発すると共に、ナップショット作

成の際にシステムを停止する時間を短くする。

第二に、サステナブルシステムの開発を行うと共に、それを用いて既存の Web サーバおよびメールサーバ等を、わずかのコード付加によってサステナブルに動作させることに成功した。

第三に、サステナブルシステムのコンポーネントである広域分散ストレージシステム Sutor の実装を行った。

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方式に着目し、オープンな環境上でアクセス制御を行う方式の開発を行った。

第五に、仮想ネットワーク技術と仮想計算機技術を組み合わせて仮想インターネットを稼働させることに成功した。

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仮想計算環境を構築する技術の開発を行った。今年度は特に仮想計算環境を利用した応用システムの実装と実験に注力した。以前より研究を続けてきた OS インタフェースの仮想化に関しての知見をさらに深め、一つの OS 上に多数の仮想的な計算環境を構築する技術を構築した。本技術は、消費資源や性能オーバーヘッドが小さいこと、コードがユーザ権限で動作すること、コードを比較的コンパクトで見通しの良いものにしやすいなどの利点を有する。本グループでは、本技術を元に、一つの OS 上に多くの仮想計算環境を作るシステムを構築した。そのシステムは、仮想計算環境のネットワーク接続のパターンおよび通信の様子を指定、視覚化する機能を含んでいる。そのシステムを用いた実験では、100 個以上の仮想計算環境を作り、各環境を仮想的な計算機ノードにみたてて P2P ファイル交換ソフトウェアを実行した。既存の多くの仮想化システムでは、同様の数の仮想環境を 1 台の計算機上に作成すると、その上で動作するソフトウェアの性能は極めて低いものになる。一方、本システムを用いた実験では、P2P ソフトウェアは仮想計算環境上で軽快に動作することが確認された。

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、まず、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統合の研究を推進し、各情報源のセキュリティポリシーを考慮したメディエーション処理を行うプロトタイプシステムを実装した。プロトタイプシステムを用いた実験により、提案手法の有効性を確認した。また、P2P 環境における XML データの相互運用を目的とした分散管理方式の研究については、OverlayWeaver を用いたプロトタイプシステムを実装した。仮想的に構築された 100 台規模のオーバーレイネットワーク上で、任意のピアに登録された XML データを任意のピアから検索することが可能であることを確認し、既存の手法との比較検討を行った。さらに、今年度から、信頼性の高い情報統合基盤の実現を目的として、持続型基盤技術に関する研究を開始した。我々が開発を行っている情報統合基盤システム StreamSpinner と、自律連合システムグループが開発中のサステナブルシステムが連携し、ノード障害が発生した場合にも、代替ノードが自動的に立ち上がり、StreamSpinner の情報統合処

理を引き継ぐことが可能である。知識発見・知識獲得を用いた情報源連合に関しては、ノイズや誤りを含む大規模テキスト情報源を対象として、例示とフィードバックを用いたテキスト情報からのレコード抽出手法、およびデータクリーニングのプロセスを統合したレコード抽出手法を開発した。フィードバックを用いたレコード抽出では、Wall Street Journalの記事約17万件を格納した文書データベースを対象とした比較実験により、提案手法の有効性を確認した。

分散コンピューティングの言語と検証グループは、以下の3点の研究を行った。

第一に、自律性を持つソフトウェアが交換する文字列データ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。前年度までに、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開発した。本年度は、サーバサイドスクリプト言語 PHP に対するこのプログラム解析のプロトタイプ実装を進め、一般に公開した。さらに、この解析に基づくプログラム検査の研究を推進した。具体的には、XMLスキーマのモデルとなるXML言語及び正規生垣言語について、文脈自由言語との包含を判定するアルゴリズムを開発した。この判定アルゴリズムを用いて、与えられたXMLスキーマに対して、プログラムが常に妥当なXML文書を出力するかの検査を実現した。

第二に、ウェブシステムの操作的意味論についての研究を行った。ウェブシステムの重要な構成要素となっているクライアントスクリプト及びクッキーをモデル化した操作的意味論を構築した。クッキーを導入した意味論では、CSRF(クロスサイトリクエストフォージェリ)と呼ばれるサーバサイドプログラムの脆弱性が表現できている。

第三に、本研究で開発しているウェブ折り紙システムを、Ajax及びGoogle Web Toolkitを用いて再構築する研究を行った。Ajaxを用いることでより柔軟なインタラクションが可能となった。この開発で得られた知見に基づき、ウェブシステムの操作的意味論の研究を進めている。

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情報基盤として更新された情報をファイルシステムレベルで捕捉し仮想ネットワーク環境上で効率良く複製保存する技術と、それらの情報交換を行う基盤である仮想ネットワークを観測し効率良く運用するための観測・運用技術の研究を行った。ファイルシステムレベルでの更新複製は、連合して動くノード同士の間で動的に状態の複製を維持する目的で、ログ構造化ファイルシステムを用いて更新差分の効率的な探索とその転送技術を開発・評価した。更新履歴全体の複製において、従来手法から25%の性能向上を実現した。また、分散複製の基盤となる仮想ネットワーク環境の時相的変動を監視・解析するために、多解像度でのトラフィック変動の解析を可能とするビューアを実現した。このビューアではネットワーク機器のNDE(Netflow Data Export)の機能を用いて、効率良くデータを収集するとともに時相的な解析により、トラフィック集中の影響をより詳細に解析できるようになった。

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。この方式ではネットワークレイテンシの影響が大きいことが判っており、起動プロファイルによるディスクイメージの最適化や先行ダウンロードなどの方式を検討した。現在、HTTP サーバは国内8サイト、海外 10 サイトから起動実験を行い、その効果を確認した。

仮想インターネットグループは、平成 17 年度においては、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が、平成 18 年度では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、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実現することを目指して研究を行った。現在のコンピュータシステムにおいては、1 台のコンピュータ上で実現することができる仮想 HUB や仮想レイヤ 3 スwitchの個数は最大でも数千個が上限である。そこで、2 台以上の複数台数のコンピュータをクラスタ状に接続し、それぞれのコンピュータ上に分散させて仮想レイヤ 3 スwitchを配置することができるように機能を拡張し開発した。これによってクラスタ対応の仮想インターネットを構築することができるフレームワークを得ることができた。

### 3. 研究実施体制

#### (1)「自律連合システム」グループ

##### ①研究者名

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

#### (2)「仮想計算環境」グループ

##### ①研究者名

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

#### (3)「データ・インターオペラビリティ」グループ

##### ①研究者名

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

(4)「分散コンピューティングの言語と検証」グループ

①研究者名

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

(5)「仮想ネットワーク環境」グループ

①研究者名

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

(6)「自律的に起動可能なネットワーク OS」グループ

①研究者名

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

(7)「仮想インターネット」グループ

①研究者名

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. 研究成果の発表等

### (1) 論文発表(原著論文)

- Mizuki Oka and Kazuhiko Kato: Anomaly Detection Using Integration Model of Vector Space and Network Representation, IPSJ Journal. Accepted for publication.
- 塚田大, 鈴木勝博, 阿部洋丈, 加藤和彦. 「インターネットを介した協調作業のためのファイル同期システム」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 12(ACS 15), pp. 368-376, 2006 年 9 月.
- 小磯知之, 阿部洋丈, 池嶋俊, 石川宗寿, リチャードポッター, 加藤和彦. 「サステナブルサービスのための基盤ツールキットの設計」. 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, Vol. 48, No. SIG 3(ACS 17), pp. 13-26, 2007 年 2 月.

- 島本 大輔, 大山 恵弘, 米澤 明憲, System Service 監視による Windows 向け異常検知システム機構, 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 12(ACS 15), pp. 420-429, 2006 年 9 月.
- Tetsuo Ida, Hidekazu Takahashi, Mircea Marin, Fadoua Ghourabi and Asem Kasem, Computational Construction of a Maximal Equilateral Triangle Inscribed in an Origami. Proceedings of the Second International Congress on Mathematical Software - ICMS 2006, LNCS 4151, pp. 361-372, September 2006
- Yasuhiko Minamide, Akihiko Tozawa, XML Validation for Context-Free Grammars, Proceeding of the Fourth ASIAN Symposium on Programming Languages and Systems, LNCS 4279, pp. 357-373, 2006.
- Fadoua Ghourabi, Tetsuo Ida, Hidekazu Takahashi, Mircea Marin and Asem Kasem, Logical and Algebraic View of Huzita's Origami Axioms with Applications to Computational Origami, Proceedings of the 22nd ACM Symposium on Applied Computing. ACM Press, pp. 767-772, 2007.
- Akihiko Tozawa and Yasuhiko Minamide, Complexity Results on Balanced Context-Free Languages, Proceedings of the Tenth International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures, LNCS 4423, pp. 346-360, 2007.

## (2) 特許出願

平成 18 年度特許出願: 0 件 (CREST 研究期間累積件数: 2 件)