

特集

研究会推薦博士論文速報

Quick Report on Doctoral Theses Recommended by IPSJ SIGs

★ **編集にあたって** 松崎 公紀：高知工科大学

本会誌では、学生の学位論文の成果を迅速に社会に紹介することを推進している。本特集は、情報処理の各研究分野をカバーする約40研究会の主査の推薦により、優れた博士論文の研究成果をいち早く読者に紹介するものである。2008年6月にその最初の特集が企画され、読者モニタから「情報各分野における博士論文の成果が簡潔に紹介されており、非常に参考になった」等のコメントをいただくなど好評のため、継続して企画している。これまで約1年間にわたり、連載の形式で約3件ずつ紹介してきたが、一覧性を高めることの利点を重視し、今回は特集という形に戻すこととなった。今後は、速報性を高めていく予定である。

本特集では、2009年4月から2010年3月までの博士論文を対象として各研究会の主査より推薦された合計31本の優れた博士論文について、その研究内容を紹介する。コンピュータサイエンス領域からは15本、情報環境領域からは5本、フロンティア領域からは11本の論文がそれぞれ推薦された。

博士論文の研究内容は専門的なものとなるが、それを読者に分かりやすく紹介できるよう少し工夫を行った。まず、単に専門的な博士論文の概要を述べるのではなく、その背景を含めた研究紹介となるよう書いていただいた。また、従来から掲載している研究会主査からの推薦文や読者の理解を助けるための図・写真に加えて、その研究内容を大雑把に一目で把握できるよう「背景」「問題／対象」「貢献」についてまとめたキーフレーズを付けるようにした。さらに、「著者からの一言」として、博士論文を執筆する上での苦労話、学位取得の喜び、今後の抱負などを自由に書いてもらった。

本特集が、読者にとって各研究分野の最新研究動向に関する理解と今後の展望を考える上で役立つことを願っている。最後に、多大なご支援ご協力をいただいた各研究会の主査の方々、またご執筆いただいた著者の方々に厚くお礼を申し上げます。

(2011年8月22日)

氏名	学位論文題目	研究会	
Dong Jin (金 東)	A Study on High Performance Data Cube Construction	DBS	コンピュータサイエンス領域
Imam Machdi	A Study on Parallel Holistic Twig Join for XML Query Processing	DBS	
善明 晃由	Automated Support for Framework-based Software Development	SE	
吉村 健太郎	Software Product Line Adoption Process for Legacy Embedded Control Systems	SE	
伏田 享平	ソフトウェア開発における定量的プロセス管理の実施支援に関する研究	SE	
井上 浩明	A Multi-Core Processor Platform for Open Embedded Systems	ARC	
中野 光臣	超並列細粒度 SIMD 型プロセッサにおける高性能実装に関する研究	ARC	
嶋村 誠	攻撃コードの振る舞いの自動解析に関する研究	OS	
菅谷 みどり	ディペンダブルな組込みシステムのためのオンライン障害管理	OS/EMB	
松葉 浩也	A Study of High-quality Network Transmission on Computer Clusters	OS	
更田 裕司	A Study on Robust Subthreshold Circuit Design to Manufacturing and Environmental Variability	SLDM	
安積 (旧姓:原) 祐子	High-Level Synthesis of LSIs from Large Behavioral Descriptions	SLDM	
Fang Ling	Formal Approach to Guarantee the Correctness of Compiler Optimization using Temporal Logic	PRO	
西原 佑	Formal Verification of High-Level Design Based on Control/Data Separation	EMB	
安積 卓也	組込みシステムに適したコンポーネントシステム	EMB	
竹中 友哉	Localization Protocol for Wireless Multi-hop Networks	MBL	情報環境領域
Peng Yang (楊 鵬)	Provable Security of Identity Based Encryption and Application to Design of Efficient Schemes	CSEC	
田中 宏平	ウェアラブルコンピューティングのための情報提示に関する研究	UBI	
辻田 眸	日常生活に溶け込む遠隔コミュニケーション手法	UBI	
村尾 和哉	ウェアラブルコンピューティングのための行動認識技術に関する研究	UBI	フロンティア領域
小町 守	Graph-Theoretic Approaches to Minimally-Supervised Natural Language Learning	NL	
徳久 良子	An Analysis of Non-Task-Oriented Dialogs and a Computational Model of Generating Affective Utterances	NL	
Xianchao Wu	Statistical Machine Translation Using Large-Scale Lexicon and Deep Syntactic Structures	NL	
森本 哲郎	Reflectance Analysis of Layered Surfaces using a Multispectral Image	CVIM	
杉村 大輔	行動特徴に基づく人物追跡	CVIM	
Ngo Thanh Trung	Outlier Detection for Robust Parameter Estimation Against Multi-modeled/Structured Data	CVIM	
岡本 泰英	Interactive Information Sharing System using Large 3D Geometric Models	CVIM	
馬場 哲晃	身体接触をインタフェースに応用した電子楽器システムに関する研究	MUS	
藤原 弘将	Statistical Modeling for Recognizing Singing Voices in Polyphonic Music	MUS	
SRIPRASERTSUK Pao	Model and Analysis for Effective Contents Distribution	EIP	
竹内 聖悟	棋譜データに基づく, ゲーム木探索の性能評価	GI	

学位論文題目

A Study on High Performance Data Cube Construction

(邦訳：データキューブの効率的な構築に関する研究)

Dong Jin (金 東)：青島大学 情報工学部 講師

[背景] 多次元オンライン分析の高速化への需要

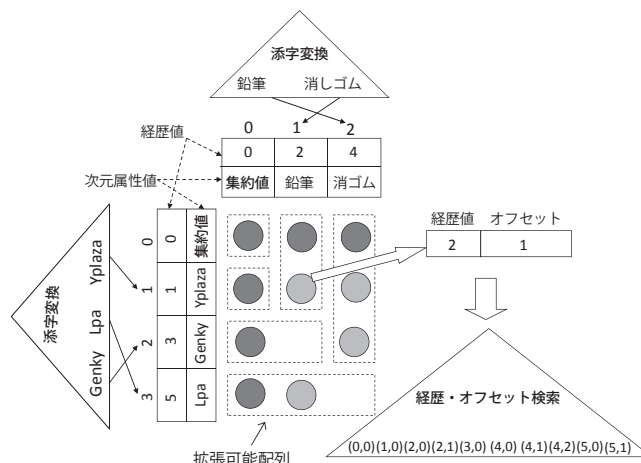
[問題] 派生集約データであるデータキューブの高速構築手法

[貢献] 拡張可能配列を用いた、データキューブの差分構築手法の提案と評価

多次元オンライン分析 (MOLAP: Multidimensional OnLine Analytical Processing) では、多次元データベースをさまざまな視点から高速に検索・分析するために、元の n 次元関係テーブルデータからデータキューブと呼ぶ 2^n-1 個の派生集約データの集合を生成する。このデータキューブの構築には膨大な時間を要するため、その効率よい構築技法が強く要請されており、現在まで多くの研究が行われている。

本研究では、高速にデータキューブを構築するための方式を提案し、評価した。多次元データは、その次元属性で張られる空間における座標として表現される。すでに存在するデータを再配置することなく動的に任意の次元に効率よく拡張できる多次元配列(以下、拡張可能配列)を用いて、この空間を表現することにする。一方、バックエンドの分析用の多次元DBであるデータキューブは、フロントエンドのオンライントランザクション処理用DBから一定期間ごとにまとめて送られる多次元データに基づいて構築される。本研究では、差分データ転送前に構築したMOLAP用データキューブを再配置することなく、データキューブを効率よく差分構築するためのデータ構造とアルゴリズムを提案した。これまで、ROLAP (Relational OLAP) 用のデータキューブの差分構築方式は提案されているが、知る限りMOLAPでは最初の提案である。

本方式では、元の n 次元関係テーブルデータと 2^n-1 個の派生集約データの集合を単一の拡張可能配列で表現した。テーブルデータの各次元属性の属性値を配列の次元添字にマッ



ピングするためのデータ構造を、元のデータキューブと差分データキューブにおいて共有する。本方式の特徴は、共有により記憶効率を高めることができること、および、差分データキューブの集約値を元のデータキューブの集約値に集約するリフレッシュ操作のアルゴリズムを考案したことである。

データキューブの実装にあたっては、所属研究室で提案している経歴・オフセット法と呼ぶ多次元データのエンコード方式を採用した。この方式は、拡張可能配列の概念をベースに、多次元データの記憶表現において問題となる動的拡張可能性と疎性の問題を解決したものである。経歴・オフセット法に基づく差分構築方式の実装手法を評価した結果、従来の固定サイズの多次元配列を用いた方式より、高い構築性能を示した。

(2011年6月18日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(工学) 大学：福井大学

推薦研究会：データベースシステム

推薦文：従来研究には見られない新しいアプローチにより、データキューブのインクリメンタルな構築方式を提案・評価している。データキューブの拡張可能性を保証しつつ、構築時間の低減と高い記憶効率を保証している。高いランクの国際会議で発表し、評価されている。

著者からの一言

日本に来る前は、企業において、データベース関連の仕事をしていました。福井大学ではデータベースの実装方式に関する研究を行いました。大変、興味深く、研究を進めることができました。指導教授の支援で無事学位を取得でき、母国の大学で教職に就くことができました。これからもデータベースの分野で研究を続けていきます。

学位論文題目

A Study on Parallel Holistic Twig Join for XML Query Processing

(邦訳：XML 問合せ処理のための並列 Holistic Twig Join に関する研究)

Imam Machdi：インドネシア統計局 マネージャ

★キーワード

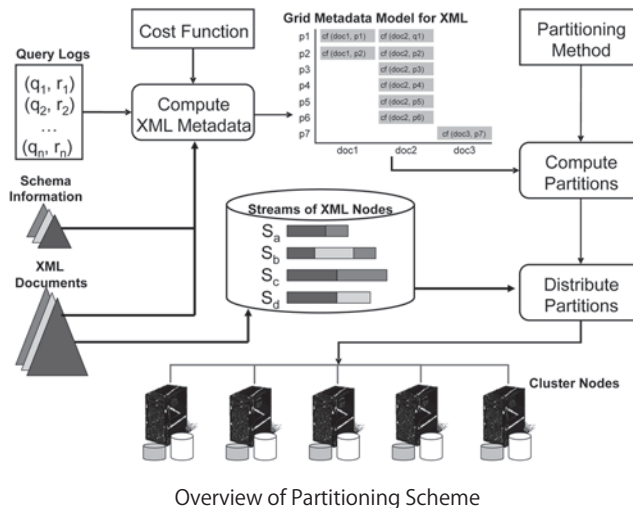
- [背景] 広く利用されるようになった XML
- [問題] 大量の XML データに対する高速な検索
- [貢献] PC クラスタ/マルチコア CPU を用いる高速な XML 検索技術

XML (Extensible Markup Language) は、データ表現のデファクトスタンダードとして広く利用されるようになった。このため、大量の XML データに対する高速な検索処理が求められている。一方、PC の低価格化と高性能化により、PC クラスタなどの計算機環境が身近なものとなった。さらに、1 つの CPU に多数のコアを搭載したマルチコア CPU が一般化しており、このような環境を利用したデータベース検索の高速化に対するニーズは高い。

このような背景から、XML データに対する並列問合せ処理手法について研究・提案した。特に、XML データの主要な検索処理アルゴリズムである Holistic Twig Join を対象とした。これまで議論があまりされてなかった並列化について研究を行い、Holistic Twig Join の並列化手法を提案した。

まず、並列問合せ処理のためには、XML の分割、PC クラスタへの分散が必要である。そのために、GMX (Grid Metadata Model for XML) を提案した。GMX は、XML データの同士の類似性、問合せ同士の類似性、XML データと問合せの関連性を考慮した XML データの分割手法である。Holistic Twig Join では、同名の要素が文書順に整列されたりスト (XML ノードストリーム) として格納されていることを仮定しており、XML ノードストリームに対する分割手法を提案しているところに新規性がある。

次に、XML データの動的な分割による負荷分散が重要である。Holistic Twig Join の並列処理における動的な負荷分散手法として、SPX (Stream-based Partitioning Method for



XML) を提案した。提案した分割手法では、木ラベルの包含関係によって判定されるノードの先祖子孫関係を考慮しており、XML ノードストリームの動的な分割が可能である。実験により、この負荷分散手法の有効性が示されている。

最後に、マルチコア CPU を利用した Holistic Twig Join の並列化について議論した。基本的なアイデアは、SPX で提案した動的分割手法に基づいて XML ノードストリームを分割し、複数の異なる CPU スレッドにて処理を行うということである。その際、Holistic Twig Join の内部処理に基づいたステージングを行い、処理の効率化を図った。

本研究においてさまざまな観点から Holistic Twig Join の並列化を議論したことは、XML データベース検索などの関連する分野に大きく貢献するものと考えられる。

(2011 年 7 月 28 日受付)

取得年月：2010 年 3 月 学位種別：博士 (工学) 大学：筑波大学

推薦研究会：データベースシステム

推薦文：本研究は、XML データの問合せ処理アルゴリズムである Holistic Twig Join を、PC クラスタやマルチコアプロセッサを用いて並列化することで高速に処理する手法を提案している。本研究は Holistic Twig Join の並列化を初めて提案した研究であり、DEIM2010 において最優秀論文賞を受賞するなど、その内容は高く評価されている。

著者からの一言

During the study of PhD program, the most challenging task is to find a new idea that nobody has encountered. It took a lot of efforts to study other people's works and came out with an original and technically acceptable idea. The joyful moment was when my research papers were accepted in International conferences and journals. Moreover, I was very grateful when I received some awards for my research achievement.

学位論文題目

Automated Support for Framework-based Software Development

(邦訳：フレームワークに基づくソフトウェア開発の自動化支援)

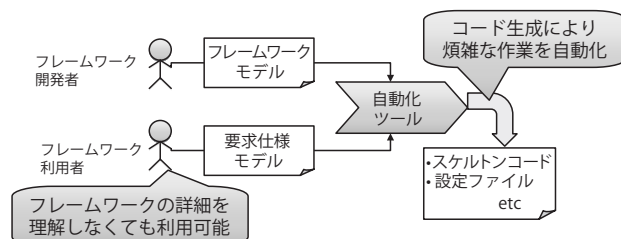
善明 晃由：(株) サイバーエージェント アメーバ事業本部

★キーワード

- [背景] ソフトウェア開発におけるフレームワークの利用
- [問題] 利用者の要求仕様をフレームワークの可変部分へどのように対応付けるか
- [貢献] 自動的な対応付けの手法と支援ツールの開発

Apache Struts や Eclipse GEF などのアプリケーションフレームワークを用いたソフトウェア開発において、計算機による支援が望まれている。フレームワークを利用した開発では、目的の要求仕様に合わせて設定ファイルや特定のクラスなどをカスタマイズする必要がある。設定ファイルの形式などのカスタマイズ方法はフレームワークによって異なるため、利用者はフレームワークごとにその利用法を理解する必要がある。一方、フレームワークは、高い拡張性を実現するために、デザインパターンやメタプログラミングなどを利用した複雑な構造を持つ。そのため、その利用法を理解するのは容易でない。要求仕様に応じたフレームワークの利用法を提示することは、フレームワーク利用に有効だと考えられる。

要求仕様とフレームワークを対応付ける際には、フレームワークの振る舞いで未定義な個所の扱いが課題となる。フレームワークは、制御構造や実行する処理が設定ファイルなどによりカスタマイズ可能であり、その振る舞いが完全には定義されていない。フレームワークを利用する際は、要求仕様のどの部分が、フレームワークのカスタマイズ可能な個所に対応するかを識別し、どのようにカスタマイズするかを理解する必要がある。フレームワークがカスタマイズ可能な振る舞いを持つため、要求仕様との間には複数の対応関係が存在し得る。どの対応関係が適切かは事前に判定できないため、フレームワークと要求仕様の網羅的な対応付けが必要となる。形式的に記述されたフレームワークと要求仕様の振る舞いを



計算機により自動的に対応付けるため、本研究では、以下の手法を提案している。

- (1) 充足可能性判定問題に基づくフレームワークの制御構造の導出：フレームワークと要求仕様の対応関係を仮定して、制御構造の一貫性を判定する。これにより、要求仕様と矛盾しないフレームワークの制御構造を網羅的に得る。
- (2) プロセス代数を用いたフレームワークと要求仕様の対応付け：メソッド呼び出しのタイミングなどフレームワークの内部動作の違いを無視しつつ、フレームワークと要求仕様の振る舞いとを対応付ける。
- (3) メトリクスを用いた利用法の選択支援：目的の要求仕様に対してフレームワークとの対応関係が複数存在する場合に、カスタマイズ個所の個数などのメトリクスを用いて適切な対応関係の選択を支援する。

提案手法に基づく支援ツールを Eclipse プラグインとして実装した (<http://www.se.cs.titech.ac.jp/research/fwit/>)。実装した支援ツールは、要求仕様を記述する単純な DSL から、フレームワークに応じたスケルトンコードや設定ファイルを生成する。これにより、フレームワークを用いたソフトウェア開発を効率化できると考える。

(2011年6月18日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(工学) 大学：東京工業大学

推薦研究会：ソフトウェア工学

推薦文：本論文はフレームワークの振る舞いの側面に注目し、充足可能性判定問題を活用して制御構造の構成を導出するなどすることでその利用を支援する手法を提案するもので、将来性を持った研究として研究会推薦論文にふさわしいものと考えます。

著者からの一言

このたびは推薦いただき、誠にありがとうございます。ご指導いただきました先生方、先輩方に感謝申し上げます。これを励みとし、これからも情報技術の発展に貢献できるよう一層努力する所存です。

学位論文題目

Software Product Line Adoption Process for Legacy Embedded Control Systems

(邦訳：レガシー組込み制御システムへのソフトウェアプロダクトラインの導入に関する研究)

吉村 健太郎：(株) 日立製作所 横浜研究所 研究員

★キーワード

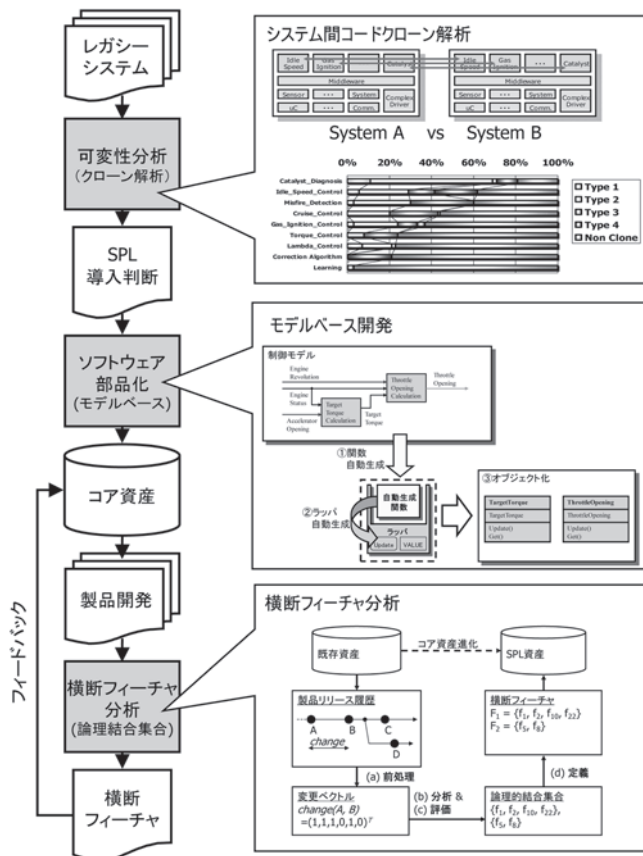
- [背景] 多機能, 多品種が進む組込みシステム
- [問題] 既存システムに基づいた SPL 導入手法
- [貢献] 大規模システムへのSPL 導入を実現するリポトリ解析技術

多機能化, 多品種化を続ける組込みシステムにおいて, ソフトウェア開発効率化の重要性は年々高くなっており, 多くの開発技術が提案されている. 特に多品種製品向けの開発方法論として, ソフトウェアプロダクトライン (以下, SPL) が注目されている. SPL の特徴は, 可変性, すなわち製品系列における製品間での機能や品質特性のバリエーションを管理し, 再利用可能なソフトウェア資産へと反映させることである. 従来提案されてきた SPL 導入手法では, はじめに要求分析により可変性を分析し, その結果に基づいてソフトウェア部品などの再利用資産を開発する. そのため SPL の導入は, 新製品を開発する場合や, ソフトウェア資産をスクラッチで再構築する場合に限られていた.

その一方で, たとえば自動車向け等の組込み制御システムはセーフティ・クリティカル・システムであり, 信頼性がきわめて重視される. そのため, 実績のある既存製品に基づいて設計を最適化したいという要求が強い. すなわち, 開発済みの製品バリエーションに基づく SPL の導入が望ましい.

そこで本研究では, 既存組込み制御システムに基づいた SPL 導入手法を提案するとともに, 実システムへの適用を通して効果の検証を行った. 上記目的を達成するための課題と解決策の概要を以下に示す.

第1の課題は, 既存システムへの導入可否の判断である. これに対して, 異なるソフトウェア間でコードクローンによる解析を行い, 共通性や可変性を評価する手法を提案した. 第2の課題は, 組込み制御システムに適したソフトウェア



部品化手法である. 本課題に対して, コード自動生成を援用した効率的なソフトウェア部品化法を提案した. 第3の課題は, 製品進化に伴って増大する可変フィーチャ数の削減である. これに対して, リリース履歴における部品間の論理的結合集合に基づき横断フィーチャ候補を抽出し, 自動的かつ定量的に決定する手法を提案した.

(2011年6月30日受付)

取得年月: 2009年9月 学位種別: 博士(情報科学) 大学: 大阪大学

推薦研究会: ソフトウェア工学

推薦文: 体系だった再利用としてのプロダクトライン開発が注目されているが, 既存資産の扱いが課題となっている. 本論文はコードクローン解析とリポトリ解析を用いたプロダクトライン導入手法を述べるとともに, 実製品に基づいた評価を行っており, 実用性の高い研究として研究会推薦論文にふさわしいものと考えます.

著者からの一言

日本では「博士」というとアカデミックなイメージが強いですが, 国際的に活躍している企業研究者は学位を取得している方が多く, 私自身, 非常に刺激を受けました. 今後も学位に恥じない研究成果を出すとともに, 製品開発, 論文発表を通じて世の中に貢献していきたいと考えています.

学位論文題目

ソフトウェア開発における 定量的プロセス管理の実施支援に関する研究

伏田 享平：奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 特任助教

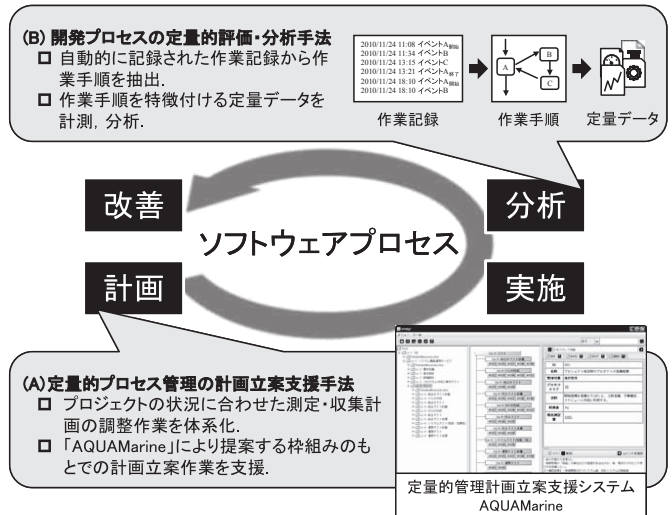
★キーフレーズ

- [背景] 定量的プロセス管理実施重要性の高まり
[問題] プロセスの定量的管理計画立案および分析・評価
[貢献] 現場での調査に基づいたプロセス管理計画・分析手法の確立

近年、ソフトウェアの果たす社会的役割は重大になっており、ソフトウェアを高品質に生産するための技術が重要となっている。その中で、ソフトウェアの開発プロセス（ソフトウェア開発にかかわる作業の系列）の実態を定量的に計測、把握し、問題が生じた場合に対策を行う、いわゆる「定量的プロセス管理」の実施が強く求められている。しかし、実際には多くの組織で定量的プロセス管理の導入が進んでおらず、実践にあたって何らかの障害が存在していると考えられる。本研究は、ソフトウェア開発現場での課題に立脚して、定量的プロセス管理の実施を支援するものである。

まず、定量データを用いたプロセス管理がどのように実施されているかを確認するため、ある国内のソフトウェア開発組織において定量データの利用調査を行った。調査の結果、組織標準として用意されている定量データの多くは有効に活用されている一方で、収集体制が整備されていないものや意思決定を行う際の判断基準となる基準値が設定されていないものなど、ある属性を持つデータは多くのプロジェクトで利用されていないことが明らかになった。また、個々のプロジェクト管理者は、プロジェクトの実態にあわせて収集するデータの個数や種類などを調整していることを確認した。定量的プロセス管理を行うにあたって重要な2つの課題は、(A) 定量データの測定計画立案、(B) 開発プロセスの定量的評価・分析である。

課題 (A) に対しては、定量データを用いたプロセスの管理に関してその計画作成を支援する枠組みを構築した。管理に



用いる定量データの測定・分析活動がプロジェクトの状況にあわせて調整されることに着目し、その体系的な枠組みを提供できるようにした。また、この枠組みのもとで定量的管理計画立案を支援するシステム AQUAMarine を開発した。企業のプロジェクト管理者のレビューにより、計画立案作業に対して有効な支援を行うことができることを確認した。

課題 (B) に対しては、ソフトウェア開発作業実施中に自動的に取得できるデータを利用したプロセス分析手法を提案した。提案手法を実際の開発プロジェクトデータに適用することで、開発成果物の品質とその開発プロセスの品質との間に関係があることを定量的に確認することができた。

これらの成果により、従来と比較してより短いサイクルで効果的に定量的管理を実施でき、プロセスの評価、改善を行うことが期待される。

(2011年6月15日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(工学) 大学：奈良先端科学技術大学院大学

推薦研究会：ソフトウェア工学

推薦文：定量的プロセス管理の重要性が言われているが現実に実施している組織は少ない。本論文は開発現場の調査を行い、実施における課題を明確にするとともに、管理計画を支援するための枠組みを提案しその有効性を確認するもので、実用性の高い研究として研究会推薦論文にふさわしいものと考えている。

著者からの一言

本研究を進める中で、実務者の方から貴重な「現場の声」を多数頂戴しました。これらのご意見をもとに検討を進めた結果、現場の実態に即した地に足の付いた研究を行うことができました。本研究で提案した手法は企業内での展開が進められています。今後もソフトウェアプロセスを中心に、現場の課題に立脚した実践的な研究に取り組んでいく所存です。

学位論文題目

A Multi-Core Processor Platform for Open Embedded Systems

(邦訳：オープンな組み込みシステムのためのマルチコアプロセッサプラットフォームの研究)

井上 浩明：NEC システム IP コア研究所

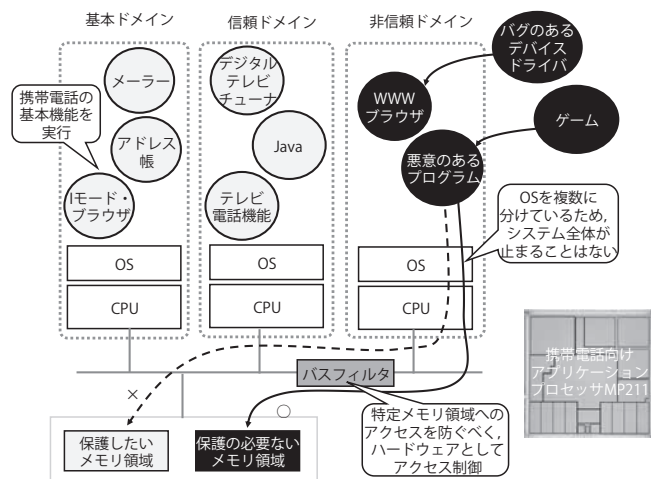
★キーワード

[背景] オープンな組み込みシステムの実現に向けて
[問題] オープンであるがゆえの課題～ウィルス为例に～
[貢献] 安全なマルチコアプロセッサプラットフォーム

もし組み込みシステムがオープンになったら、どのような価値をもたらされるだろうか？ 2009年度にはGDPの約13.5%を占めた、日本の強みたる組み込みシステムをさらに成長させることができるだろうか？

オープンな組み込みシステムとは、たとえば、あらゆるシステムが相互に連携し、また、ユーザは求める機能を自由にダウンロード可能であるような、開かれたシステムを指す。ここで、先の問いに答えるべく、代表的な組み込みシステムである、携帯電話の市場動向を例にとる。米国調査会社Gartnerによると「2011年第一四半期にて、世界の携帯電話の販売台数は前年同期比で19%増え、とりわけスマートフォンの販売台数は前年同期比で85%伸びた。この市場成長の原動力は、米国Google社が開発したオープンなプラットフォームAndroidであり、実際にAndroidを搭載したスマートフォンは36%のトップシェアを占めた」とされる。無論、携帯電話市場は一例に過ぎないものの、オープン化は、組み込みシステム市場の潜在的な成長を引き出す、と期待される。

しかしながら、システムのオープン化が進むと、当然、クラッカーによる不正アクセスやウィルスによる感染といった、さまざまな脅威が待ち受ける。先と同じく、スマートフォンを例にとれば、米国シマンテック社は「2011年3月時点において、50種類以上のウィルスがAndroid向けアプリケーションの配布サイトで発見され、さらに、ウィルスに感染したあるアプリケーションは20万件以上もダウンロードされた」と報告している。このことから、オープンな組み込みシステム



は、オープン化による価値の向上と引き換えに、常に外部からの脅威にさらされる、という根源的な課題を持つ。

以上を踏まえ、マルチコアプロセッサを活用することで、ウィルスの脅威からシステムを保護するプラットフォームについて研究を行った。アイデアは非常に単純で、電話やメールのような基本機能アプリケーションと、ユーザによりダウンロードされたアプリケーションとを異なるCPUコアにて実行する。ただし、本プラットフォームでは、メモリやI/Oといった共有資源をCPUコアごとに分離するべく、バスアクセスの監視・フィルタを行うハードウェアを導入した点に特徴がある。この工夫より、ウィルスに感染したダウンロードアプリケーションによって基盤ソフトウェアの脆弱性が悪用されたとしても、基本機能アプリケーションを保護できる。なお、本研究成果の一部は、旧NECエレクトロニクス社により開発された携帯電話向けアプリケーションプロセッサMP211へと応用された。

(2011年5月30日受付)

取得年月：2009年9月 学位種別：博士(工学) 大学：慶應義塾大学

推薦研究会：計算機アーキテクチャ

推薦文：携帯電話などに用いる組み込み用マルチコアプロセッサは、従来はほとんどその上でユーザプログラムを動かすことはなかった。しかしスマートフォン等の普及により組み込み用でも、安全なプラットフォームとして利用することが必要である。このためのシステムの仮想化についての方法を提案し、実際のシステムに実装して評価している。

著者からの一言

「マルチコアだからできることって何?」、そんな素朴なお客様の質問からこの研究は始まりました。セキュリティという、自分にとってまったくの未知の分野への挑戦に大変苦労したものの、挑戦した甲斐あって、研究論文が国際学会DACの最優秀論文候補や国際学会CODES+ISSSの最優秀論文に選ばれたことは大きな励みとなりました。

学位論文題目

超並列細粒度 SIMD 型プロセッサにおける 高性能実装に関する研究

ARC

中野 光臣：熊本高等専門学校熊本キャンパス 人間情報システム工学科 助教

★キーフレーズ

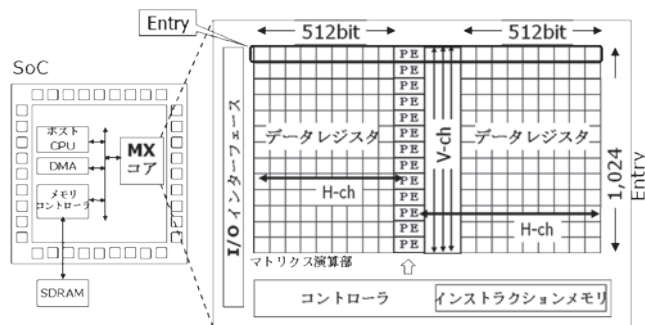
- 【背景】 組み込みシステムの複雑化や多様性
- 【問題】 低消費電力と処理の高速性や柔軟性の両立
- 【貢献】 SIMD 型プロセッサにおける高性能実装

近年、組み込みシステムは携帯電話などさまざまな製品に利用されており、取り扱うアプリケーションの複雑化や多様化、処理データの大容量化に伴い、低消費電力かつ処理の高速化や柔軟性が求められている。従来はマイクロプロセッサや専用ハードウェアを搭載していた。しかし、マイクロプロセッサはさまざまな処理に柔軟に対応できるが、動作周波数を上げて高速処理を行うには消費電力の面が問題となる。また、専用ハードウェアは特定アプリケーションに特化しているため、低消費電力で高速処理が可能だが、柔軟性が問題となる。

このような背景のもと、本研究では超並列細粒度 SIMD (Single Instruction Multiple Data) 型プロセッサに注目し、研究を行った。SIMD 型プロセッサは、単一命令で多数のデータに対し同時に処理を行う。そのため、構造が単純であり実装面積が小さいという特徴を持つ。また、並列処理により消費電力を抑え高速処理が可能であり、ビット単位の細粒度演算を用いることで柔軟性が増す。

SIMD 型プロセッサにおいて解決すべき課題もある。まず、多数のデータによる並列性が得られないとそれが性能低下の要因となる。また、細粒度演算は演算に必要なサイクル数が多くなることから、並列性を上げてスループットを向上させる必要がある。したがって、データ数が十分にあり、演算およびデータ転送の並列性が十分に高いことが SIMD 型プロセッサが性能を発揮する条件である。

本論文では、SIMD 型プロセッサの問題点を解決するために、並列性と演算効率の向上を目的とした3つのアプロー



チを提案している。

1つ目のアプローチはアプリケーションの実装手法についてである。実装デバイスとして、2ビットの処理ができる PE (Processing Element) が 1024 個並列に動作する MX コアを使用する。そのようなプロセッサに対してアプリケーションの処理に対し並列性が高い回路を MX コア、その他回路を Host CPU に割り当てる。細粒度の演算により処理を細かく分割し、処理の高速化を実現できる。

2つ目のアプローチは、アーキテクチャについてである。第1に、各 PE が異なる処理を行うと処理性能が低下する問題に対し、PE 間データ転送および演算処理に着目した MIMD (Multiple Instruction Multiple Data Stream) 化を提案した。第2に、処理データ数が十分にない場合に性能が低下する問題に対し、演算粒度可変 PE アーキテクチャを提案した。これらにより、追加リソースを抑え演算効率を向上できる。

3つ目のアプローチは、SIMD 型プロセッサ向けの設計支援環境構築である。PE 間データ転送処理の導出を自動化し、C 言語のプログラムから並列性を抽出するトランスレータを含めた設計支援環境を構築した。これにより、実装期間が短縮可能となる。

(2011年6月30日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(工学) 大学：熊本大学

推薦研究会：計算機アーキテクチャ

推薦文：当該論文は、少数ビットの演算器を数千個並列で実行させる超並列細粒度 SIMD 型プロセッサを対象として、並列化の効率向上手段と演算処理の最適化を体系的にまとめた論文である。この研究は SoC 搭載 SIMD プロセッサに効率的なアプリケーション実装手段を提供することから、大きな実用性を持つ論文として推薦する。

著者からの一言

博士論文を制作するにあたり、学部4年からの6年間で指導していただいた先生方や先輩方、苦しいときも分かち合った同輩や、研究を支えてくれた後輩というように、多くの人に支えられていることを強く実感しました。今後は、私も教育者・研究者として、学生を支えながら研究を行っていきたいと思います。

学位論文題目

攻撃コードの振る舞いの自動解析に関する研究

嶋村 誠：(株) 東芝 ソフトウェア技術センター

★キーフレーズ

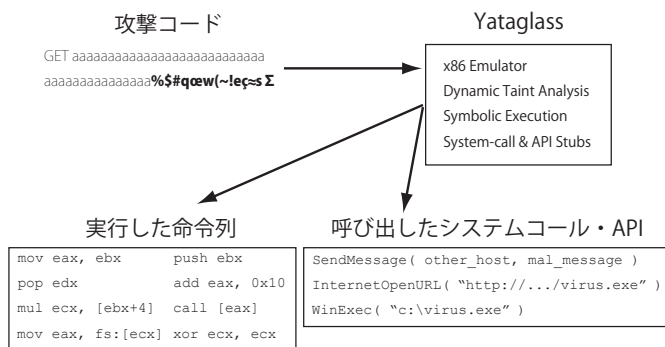
[背景] 攻撃コードが高度化し、自動的な解析が困難に
[対象] 攻撃コードの命令列や API 呼び出しの自動解析
[貢献] 解析能力を高めた自動解析システムの提案

現在のインターネットは我々の生活に不可欠な社会基盤となっており、ネットショッピングやオンラインバンキングなどをはじめとして、さまざまなサービスがインターネット上で動作している。一方で、悪意ある攻撃者がリモート攻撃を行う事例が後を絶たない。

リモート攻撃では攻撃者が作成した攻撃コードと呼ばれる機械語命令列をサーバに注入し動作させるものが多い。防御システムのベンダは攻撃コードが現れると、その振る舞いを解析し、得られた情報を防御のために利用している。このような解析では、主に逆アセンブラやデバッガを用いて、攻撃コードが計算機資源へのアクセスのために用いるシステムコールや API 呼び出しを抽出する。しかし、人手による攻撃コードの解析は多くの時間を要する。したがって、このような解析作業の負担を減らすためにさまざまな解析システムが提案されている。

一方で、攻撃者は攻撃コードを工夫し、解析システムを回避するようになってきている。たとえば、攻撃コードを暗号化して逆アセンブルできないようにする。また、デバッガや解析システムを検出するコードを組み込み、攻撃コードが攻撃者の望まない環境で動作できないようにする。このような手法により攻撃コードの自動的な解析が難しくなっている。

そこで本研究では攻撃者が容易に回避することができない振る舞い解析システム Yataglass を提案した。Yataglass では攻撃コードを機械語命令列として疑似実行することで解析する。これにより、暗号化された攻撃コードによって解析を回避さ



れることはない。また、攻撃コードが Yataglass を検出し解析を回避することを防ぐために、Dynamic Taint Analysis を用いてデバッガや解析システムを回避してしまう条件分岐を発見し、その分岐の両方のパスを解析する。さらに Yataglass の回避をより難しくするため、メモリスキャン攻撃と呼ばれる攻撃への対策を行い、Symbolic Execution を用いて攻撃コードが用いるメモリ中のデータを推測するようにした。

これまでに、Yataglass のプロトタイプを実装した。Yataglass の有効性を示すため、攻撃コード生成ツール MetaSploit を用いて生成した攻撃コード、暗号化ツール TAPiON によって暗号化した攻撃コード、およびインターネットから取得した実際の攻撃コードを用いて実験を行った。その結果、Yataglass はこれらの攻撃コードをすべて正しく解析できた。また、既存の解析システムを回避するようなメモリスキャン攻撃を組み込んだ攻撃コードに対しても、Yataglass は正しく解析できた。今後、Yataglass はウィルス定義ファイルの自動生成や、侵入検知・防御システムなどに応用できると考えている。

(2011年6月15日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(工学) 大学：慶應義塾大学

推薦研究会：オペレーティング・システムとシステムソフトウェア
推薦文：本論文は、攻撃コードが実行する OS へのシステムコール列を抽出し、攻撃コードの実行挙動を予測することで、システムのセキュリティを向上する方式を提案している。Linux と Windows に対応し、マルウェア関係では評価の高い国際会議 DIMVA に採録となっている。

著者からの一言

博士課程での一連の研究活動を通して、自分の成長を実感することができた。1つの課題についてじっくりと取り組むことができたことは、自分にとってとても良い経験であったと思う。今後は博士課程で身につけた研究能力をベースとして、社会に活かせるソフトウェア技術を開発していきたい。

学位論文題目

ディペンダブルな組込みシステムのための オンライン障害管理

OS
EMB

菅谷 みどり：横浜国立大学，未来情報通信医療社会基盤センター 講師

★キーワード

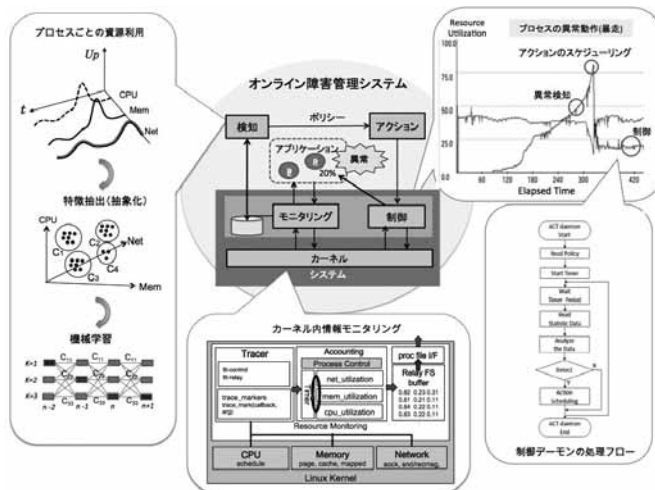
[背景] 組込みシステムの用途と拡大
[問題] 組込みシステムの複雑化・巨大化による障害の増大
[貢献] カーネル内資源情報の利用による障害管理システム

近年，組込みシステムは機器の高性能化や高機能化やネットワーク接続により，モバイル情報端末や，情報家電，車載情報機器等へと用途が拡大している．これらの組込みシステムは，利用者の多様な要求に対応することで，社会をより豊かにするものとして期待されている．

一方で，これらの組込みシステムはユーザの多様な要求に応えるため，ソフトウェアの規模が巨大化・複雑化し，また使用環境の変化に伴う不確かさを持つ．そのため，これらを起因とした障害の増大が問題となっている．変化する環境にかかわる障害要因を出荷前にすべて取り除くことは困難であるため，何らかの運用時対応は重要な課題である．具体的には，負荷の変動や外部からの攻撃などの環境にかかわる障害を事前に検知し，回避するための仕組みが必要である．また，これらの手段によりディペンダビリティを向上させることが必要である．

本研究は，上述した組込みシステムにおける問題点と課題を整理し，その要求を考慮した上で，問題解決を図ることを目的とした．具体的には，運用時に発生する障害を検知し，制御するための仕組みをオンライン障害管理システムとして提案した．このシステムは，以下の3つの主要なコンポーネントからなる．

(1) モニタリング：カーネル内情報モニタリングによるプロセスの高精度資源情報の取得



(2) 検知：正常のモデル化と，機械学習による異常検知
(3) 制御：アプリケーションの資源利用の制御による障害の回避

これらのコンポーネントは，組込みシステムの要求である (a) 個々のアプリケーションを変更せずに利用可能，(b) 低負荷での監視の実現，(c) 管理コストの低減を実現する．実際に，ディペンダビリティの評価指標に従った評価により，このシステムの有用性を確認した．

組込みシステムのような多様な言語やハードウェアで実装されるシステムでは，個々の障害モデルの自律的な作成や，自動検知と制御，汎用的な解法を検討することは今後ますます重要な課題となると考えられる．本研究は，その実現の一例を示すことができたが，さらに一方さまざまな課題も見つかっている．今後一層，研究を進展させ，課題を解決してゆきたい．

(2011年6月23日受付)

取得年月：2010年2月 学位種別：博士(工学) 大学：早稲田大学

推薦研究会：オペレーティング・システムとシステムソフトウェア

推薦文：本論文では，組込みシステムにおける障害検知対処を支援するディペンダブルな障害管理システムの実現を目的に，機械学習による自律的な異常検知をOSにおいて監視，制御を支援する方式を論じており，将来性が高い．また，被推薦者は社会人，女性研究者であり，本分野で活躍する研究者としての学位論文としても推薦できる．

推薦研究会：組込みシステム

推薦文：本論文では将来の組込みシステムのディペンダビリティを論じている．主な内容は(1) 分野の課題の検討(2) 機械学習による自律的な異常検知への取り組み(3) カーネル情報の利用と制御支援である．組込みシステムの将来課題を示し，それに対し新規手法の提案を行った点を評価し，本研究では推薦論文として選定した．

著者からの一言

執筆にあたりディペンダビリティのあり方について研究者，企業の方と多くの方々と議論する機会を得たことで，広い視点で研究を進めることができました．ディペンダビリティは，震災や事故発生時の事業継続への注目度が高まっている現代社会において一層重要となっています．今後も本研究を礎に新たな研究により，分野の発展の一助となるよう精進したいと思います．

学位論文題目

A Study of High-quality Network Transmission on Computer Clusters

(邦訳：計算機クラスタにおける高品質ネットワーク送信に関する研究)

松葉 浩也：(株) 日立製作所中央研究所 研究員

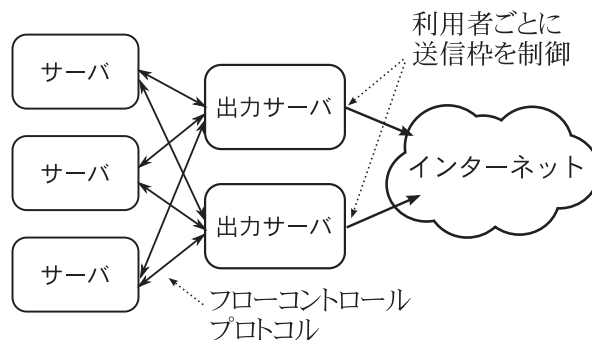
★キーフレーズ

- 【背景】 大規模化・集中化する計算機環境
- 【問題】 公平かつ効率的なネットワーク転送
- 【貢献】 パケット破棄によらない送信帯域制御

近年の計算機環境は大規模化，集中化の傾向にある。クラウドコンピューティングはその代表例であり，従来は各社が社内に保有していた計算資源がデータセンタに集約されようとしている。計算資源が集中するデータセンタ，あるいは公共機関の計算機センタでは多くの利用者が限られた帯域のインターネット接続を共有することになる。利用者の利便性や利用者間の公平性を考えると，大量のデータを公平かつ効率的にインターネットに送信する技術が必要不可欠である。

公平なネットワーク転送の1つの方法は，ネットワークスイッチやルータに備えられたQoS機能を利用することである。これらのQoS機能は設定された送出速度を超えた場合にデータを破棄することで実現されている。インターネットで一般的に用いられるTCPプロトコルはこのパケットロスを検出して送出速度を下げるような調整を行うため，次第にデータの送出速度自体がスイッチ等に設定した値に近づくことが期待されている。しかし，通信経路中におけるパケットロスは通信の安定性を損なうため，この方法で設定速度の上限に近い性能を安定して得ることは難しい。

本研究では，帯域制御と通信の安定性を両立し，各利用者が自身に割り当てられた帯域を最大限活用できる技術を開発した。図に示すように，提案した手法では外部へのネットワーク通信を担当する専用の計算機(出力サーバ)を準備し，インターネットに接続されたネットワークインタフェースをソフトウェア的に時分割して各利用者に割り当てる。たとえば1Gbpsのイーサネットデバイスを短い時間サイクルで4分割



すれば250Mbpsの送信枠が4人分確保できる。そして新たに開発したソフトウェアで，上記送信枠を物理性能とするような仮想ネットワークインタフェースをデータセンタ内の各サーバ(バックエンドサーバ)上で提供する。この仮想インタフェースに対してデータを送出すれば，TCPプロトコルは常に設定帯域以下で送出手のため，帯域制限のためにスイッチ等でパケットを破棄する必要がなくなる。その結果パケットロスのない安定した通信と帯域制御の両立が可能となる。

これを実現するため，各バックエンドサーバからの出力の合計帯域を出力サーバ上での帯域制限以下に抑えるための新たなフローコントロールプロトコルを定義した。このプロトコルは出力サーバにおいて各利用者の送信枠の空き状況を確認しながらデータセンタ内のバックエンドサーバの中からインターネットへの送出手を許可する利用者を公平に選択する。このプロトコルによりパケット破棄に依らない利用者ごとの帯域制限が実現できる。Webサーバなどの実アプリケーションを用いたベンチマークでは従来手法による帯域制限との比較で最大25%の高速化が確認できた。

(2011年6月30日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(情報理工学) 大学：東京大学

推薦研究会：オペレーティング・システムとシステムソフトウェア
推薦文：本論文は，計算機センタの計算機クラスタとセンタ外部の計算機が通信を行う状況において高速かつ正確な帯域での通信を実現するために，「I/Oサーバ」と呼ばれるサーバを設置しトラフィックを制御する方法を研究した。計算機センタやデータセンタなどにおける資源管理手法として有用であり，興味深い研究となっている。

著者からの一言

執筆当時は助教として大学で働いていました。研究以外の業務も多かったため時間の確保に苦労した面もありますが，周囲の教員，職員の方々が学位論文執筆の重要性も認めてくださったので書き上げることができました。深く感謝いたします。

学位論文題目

A Study on Robust Subthreshold Circuit Design to Manufacturing and Environmental Variability

(邦訳：製造ばらつきと環境変動を許容するサブスレッシュヨルド回路設計に関する研究)

更田 裕司：東京大学 生産技術研究所 助教

★キーフレーズ

【背景】 デジタル LSI の低電力化の要求

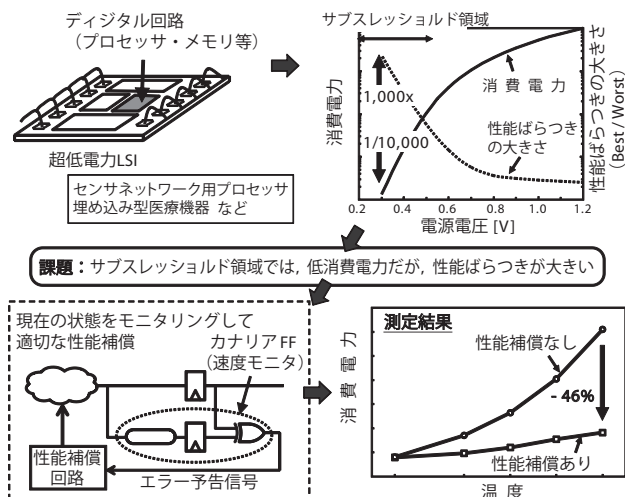
【問題】 超低電力サブスレッシュヨルド回路の安定化と低電力化

【貢献】 消費電力を 46% 削減したサブスレッシュヨルド回路

近年、超低電力デジタル LSI を実現する方法の 1 つとして、サブスレッシュヨルド回路が注目されている。サブスレッシュヨルド回路とはトランジスタの閾値電圧 (0.3 ~ 0.5V 程度) 以下の電源電圧で動作する回路のことで、低速・超低電力という特徴を有している。このため、太陽電池や振動などの環境発電による動作も可能であり、電池交換などの保守が困難なセンサネットワークのノード向け回路や、埋め込み型医療機器などへの適用が期待されている。一方で、その実用化には高いハードルが存在する。それは、サブスレッシュヨルド回路が製造ばらつきや温度・電源電圧変動に弱く、動作速度がこれらによって大きく変化するという点である。このような状況下でも安定した動作を実現するには、新しい設計手法・回路技術が必要となる。

この問題に対して、まず、デバイスレベルで取り組んだ。製造ばらつきに敏感なサブスレッシュヨルド回路の設計には、ばらつきが回路性能に与える影響の事前評価が不可欠である。しかし、サブスレッシュヨルド回路の性能ばらつきをどのように見積もるべきか、明らかでなかった。そこで、製造ばらつきの影響を測定するテスト回路を設計し、その測定結果をもとにトランジスタのばらつきモデルを構築した。その結果、サブスレッシュヨルド回路の性能ばらつきの主要因が、トランジスタの閾値電圧ばらつきであることが明らかになった。さらに、サブスレッシュヨルド回路の性能ばらつきを精度よく見積もることが可能な、トランジスタばらつきモデルを提案した。

さらに、回路レベルでも取り組んだ。従来の回路設計では、



製造ばらつきや環境変動のワーストケースをマージンとして設定していた。サブスレッシュヨルド回路で同様の手法をとると消費電力は数倍にも及び超低電力動作の特徴を損なう。そこで、動作時に回路状態を常にモニタリングし、適切な性能補償を行う回路の提案を行った。回路状態のモニタリングには、カナリア FF と呼ばれる、エラーの発生を予測するセンサを回路内に埋め込むことで実現した。テストチップを設計・試作・測定し、その結果からワーストケースをマージンとする従来手法に比べ、提案回路は消費電力を 46% 削減できた。

製造ばらつきと環境変動に脆弱であるというサブスレッシュヨルド回路の実用化を阻害する要因に対し、デバイスレベルと回路レベルで解決法を示した。これにより、センサネットワークなどの超低電力アプリケーションの普及に貢献できるものと期待される。

(2011 年 6 月 14 日受付)

取得年月：2010 年 3 月 学位種別：博士 (情報科学) 大学：大阪大学

推薦研究会：システム LSI 設計技術

推薦文：サブスレッシュヨルド回路による超低電力回路の実用化に向けた、非常に堅実な研究である。製造ばらつきや環境が性能ばらつきに与える影響を精度よく見積もるモデル、および、性能ばらつきを補償する回路を提案し、消費電力を従来と比べ 46% 削減できた。チップ試作によって効果を確認しており、実用的にも高く評価できる。

著者からの一言

本研究は、回路の設計から、チップの試作・測定まで、非常に時間と根気の必要なものでした。その分、実際のチップ上で回路が動作した際の喜びも格別なものでした。近年、電子機器の低電力化への要望が高まっていますので、その進展に少しでも貢献できるようこれからも研究に励みたいと考えております。

学位論文題目

High-Level Synthesis of LSIs from Large Behavioral Descriptions

(邦訳：大規模動作記述からのLSIの高位合成)

安積 祐子 (旧姓：原, 学位取得時は旧姓)：立命館大学 情報理工学部, 日本学術振興会特別研究員
／カリフォルニア大学アーバイン校 客員研究員

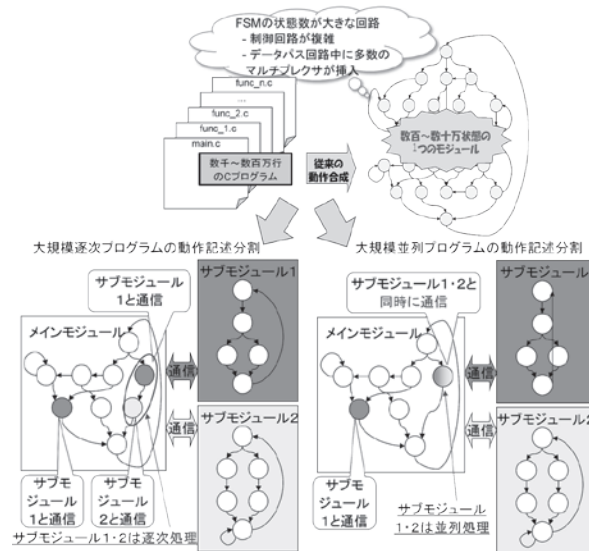
★キーフレーズ

- [背景] 大規模集積回路の大規模化・複雑化
- [問題] 高位合成の適用範囲の拡大
- [貢献] ベンチマークスイート CHStone の開発, および, 動作記述の分割手法の提案

従来, 大規模集積回路 (LSI 回路) は Verilog-HDL や VHDL などのハードウェア記述言語を用いて, 人手によってレジスタ転送レベル (RTL: Register Transfer Level) という抽象度で設計されてきた。LSI は年々大規模・複雑化する一方, time-to-market の短縮が求められており, 従来の設計手法で LSI を設計することは困難になってきた。そこで, C などの動作記述から RTL 回路を自動合成する『高位合成』という技術が用いられるようになってきた。高位合成により, LSI 回路の設計生産性を飛躍的に改善できる。しかし, 特に大規模回路を設計する際, 高位合成により自動生成された RTL 回路は, 人手によって設計した RTL 回路に比べて面積 (製造コスト)・性能が劣るという問題があり, LSI 設計の主流は高位合成に完全には移行していない。

高位合成への移行を妨げる一因に, 多くの研究においてベンチマークプログラムとして百行未満の小さな C プログラムしか使用されていないことが挙げられる。実用的な高位合成技術を開発し, それらを定量的に評価するためには, 高位合成で利用可能な, 実用的な C プログラムから成る標準的なベンチマークスイートが必要不可欠である。その上で, 大規模動作記述からの高位合成の潜在的な問題点を明らかにし, それらの問題を解決する高位合成技術を開発する必要がある。

まず, C ベース高位合成のための初めてのベンチマークスイート, CHStone を開発した。CHStone は, さまざまなアプリケーションドメインから選抜した, 大きく, かつ, 多様な



特徴を持つ, 12 個の実用的なプログラムで構成されている。あわせて, CHStone を定量的に評価・解析した結果も公開している。2011 年 6 月 15 日現在, 41 カ国から計 401 回ダウンロードされ, 一流国際会議の発表論文でも使用されている。

CHStone を定量的に解析することにより, 制御回路の複雑さとマルチプレクサの面積・遅延が, 高位合成における LSI 回路の性能劣化を招くことを明らかにした。この問題の改善には, 入力動作記述の適切な分割が有効である。本研究では, 大規模動作記述 (逐次, および, 並列) から LSI 回路を高位合成する際の動作記述分割手法を提案した。本手法の特徴は, 実際に高位合成を行う前に, LSI 回路の面積・性能のトレードオフポイントを効率よく探索し, 最適なモジュール数, および, モジュール構成を得る動作記述分割を体系的に決定できることである。

(2011 年 6 月 15 日受付)

取得年月: 2010 年 3 月 学位種別: 博士 (情報科学) 大学: 名古屋大学

推薦研究会: システム LSI 設計技術

推薦文: 高位合成の適用範囲拡大に向けた, インパクトの大きな研究である。大規模なプログラムからなる高位合成向けベンチマークスイートを開発し, 高位合成の問題を明らかにするとともに, 面積・性能のトレードオフを考慮して大規模プログラムを最適分割する手法を提案するなど, 実用性に優れた研究であり, 高く評価できる。

著者からの一言

今後ますます LSI 回路の自動設計が重要になっていく一方, 高位レベルで考慮すべき課題は山積しています。引き続き, より実用性の高い高位合成技術の研究・開発に取り組んでいきます。

学位論文題目

Formal Approach to Guarantee the Correctness of Compiler Optimization using Temporal Logic

(邦訳：時相論理によりコンパイラ最適化の正しさを保証する形式的手法)

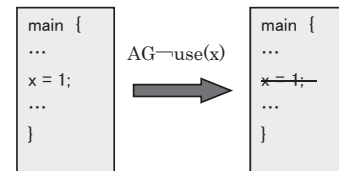
Fang Ling

★キーフレーズ

【背景】 コンパイラ最適化の複雑化

【問題】 コンパイラ最適化の正しさは未解決

【貢献】 正しさの保証されたコンパイラ最適化器に向けた実現



目的コードの効率を向上させる最適化はコンパイラの重要なフェーズである。しかし最近の進んだ最適化器の多くは複雑なソフトウェアであるため、通常のプログラムによる最適化器に誤りがあることは稀ではなく、そのときその原因を突き止めることが難しい。コンパイラ最適化器の正しさは未解決な問題である。モデル検査は形式手法の一種で、時相論理式がモデル上で満たされるかどうかをモデル検査器により計算するため、厳密、全自動化などの特徴があり、プログラム解析において脚光を浴びている。

時相論理 CTL は分岐時相論理の一種で、木構造のように分岐している未来の複数の経路上の性質を計算する。最適化のアルゴリズムの多くは、ある命令文を始点とし木構造に分岐するプログラム実行経路上で解析した結果に基づいて書き換えを行う。たとえば定義文「 $x=1$ 」が代入された後すべての実行経路において x が使われない場合は、その定義文を無用命令文として除去できる。これは、「変数 x が定義された時点から、すべての経路すべての時点で使われない」ことを意味する CTL 論理式 $AG \neg use(x)$ によって表現できる。CTL によりコンパイラ最適化器の正しさを保証するための研究として、大きく 2 つのことに取り組んだ。

1 つ目の研究では CTL による記述からコンパイラ最適化器を生成した。最適化のアルゴリズムを CTL 式で記述し、モデル検査による計算結果に基づいてプログラムの書き換えを行う。不要命令文除去の例では、「 $AG \neg use(x)$ 」を満たした命令文に「 $x=1 \rightarrow skip$ 」の書き換え規則を適用し、不要命令

を除去する。この最適化アルゴリズムを通常のプログラムによって実現するには数百行の記述が必要なため、不具合が混入する可能性が高い。一方本手法では、数行の CTL 論理式の正しさを保証すれば、モデル検査器による計算によって正しさが保証される。

2 つ目の研究では、現実に使われているほとんどの最適化器が通常のプログラムで書かれたものであるため、既存最適化器によるプログラムの変形をモデル検査によって検証した。まず、変形個所がプログラムの意味を保つために満たすべき性質を CTL 式で記述する。次に、最適化前後のプログラムを比較し差分を抽出した後、すべての変形がその種の変形に応じた CTL 式を満たすかどうかをモデル検査により検査する。たとえば、既存の最適化器プログラムによって不要命令文として除去された「 $x=1$ 」に対して、「 $AG \neg use(x)$ 」が満たされるかどうかをモデル検査する。

本研究によって、正しさの保証されたコンパイラ最適化器に向けたノウハウを蓄積し、問題点と可能性を明らかにした。特に、COINS コンパイラの最適化器における誤りや曖昧な変形をいくつも発見できた。本研究により、モデル検査によるコンパイラ最適化の正しさの検証の実用化に向け大きく進展し将来の発展を見込めるようになったと期待する。

(2011 年 6 月 14 日受付)

取得年月：2010 年 3 月 学位種別：博士（理学） 大学：東京工業大学

推薦研究会：プログラミング研究会

推薦文：本論文は、時相論理を用いてコンパイラの最適化の正しさを保証する手法を 2 つ提案している。1 つ目は、時相論理 CTL を用いて記述した最適化変換から実際の最適化器を生成する。2 つ目は、既存の手書きの最適化器の正しさを CTL に基づくモデル検査により検証する。ともに時相論理の実用的な適用に貢献した点が新規である。

著者からの一言

当初難しく感じましたが、研究を経て形式手法によるソフトウェアの検証は情報社会に大変重要だと思うようになりました。形式手法を上流工程から下流工程まで適用することで、品質を大幅に向上させることができ、日々複雑になるシステムの品質改善に強力な解決法を与えます。博士課程で習得した知識を活かし、人命にかかわるシステムの検証を通じ、社会貢献したいと思います。

学位論文題目

Formal Verification of High-Level Design Based on Control/Data Separation

(邦訳：高位設計に対する制御と演算の分離による形式的検証)

西原 佑

★キーフレーズ

[背景] 高位設計の形式的検証における計算量の増大

[問題] 制御と演算の分離による検証の効率化

[貢献] 他の手法との組合せによるさらなる形式的検証の効率化

組込みシステムやシステム LSI などの規模増大に伴い、より抽象度の高い高位設計から設計を始めることが多くなっている。高位設計の正しさは主にシミュレーションによって検証されるが、テストパターンの漏れがあると設計誤りを検出できないため、網羅的な検証を行う形式的検証の重要性が高まっている。しかし、形式的検証では一般に計算量が設計規模に対して指数的に増加するため、検証可能規模が小さいという問題がある。

本研究では、高位設計を FSMD (Finite State Machine with Datapath) 表現に変換して扱い、制御と演算を分離することにより形式的検証を効率化することを目的とした。この目的のため、以下の3手法を提案している。

- 1) プロパティ分割と限定モデル検査による長い反例を持つ設計誤りの検出
- 2) 同一データパスへのマッピングによる等価性検証の効率化
- 3) 並列動作する複数の FSMD 間の同期点特定と状態削減

1)では、限定モデル検査を複数回実行し、得られた反例を接続することによって、効率的に長い反例を持つ設計誤りを検出する。限定モデル検査では、検出できる反例の長さに対して、計算量が指数的に増えるため、反例を分割して求める提案手法は効率的に検証を行うことができる。実験においても、分割を行わない限定モデル検査に比べて、短時間で反例を得ることができた。

2)では、2つの FSMD で表現された高位設計の等価性を検証する際に、同一のデータパス上にマッピングすることにより、データ演算部分と制御部分を分けて効率的に検証を行う。同一のデータパスにマッピングすることにより、ビットレベルでの等価性を検証でき、制御部分は記号シミュレーションを適用することによって行うため、実際の演算器の機能を考慮せずに高速に等価性を検証することができる。実験により、データ演算と制御を分離せずに検証する従来手法に比べて短時間で等価性を証明することができた。

3)では、協調動作するハードウェアとソフトウェアにおけるメモリマップ I/O 通信を複数の並列実行する FSMD 間で参照可能な共有変数に抽象化することにより、HW/SW 協調システムの高位設計を FSMD として表し、1)や2)の手法の適用を可能とする。また、共有変数へのアクセスが生じる同期点を利用した状態削減手法も提案している。この通信抽象化により、より大規模な設計を検証することが可能になる。

本研究の最も重要な特徴は、設計の制御部分と演算部分を分離させて形式的検証を適用する具体的手法を提案した点である。特に、設計の制御部分と演算部分の分離が形式的検証においても有効であることを示した点が大きな貢献であると言える。また、HW/SW 協調システムに対する適用手法の提案により、適用可能な設計の種類が広がり、汎用的な手法になっている点も長所の1つである。今後は提案手法を他の高速化手法と組み合わせることにより一層の検証時間の短縮が実現されることが期待される。

(2011年6月18日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(工学) 大学：東京大学

推薦研究会：組込みシステム研究会

推薦文：本論文では、組込みシステムやシステム LSI の高位設計を FSMD 表現に変換して扱い、制御と演算を分離することにより形式的検証を効率化することを提案している。提案している手法を用いることで、従来よりも大規模な設計を検証することを可能とした。形式的検証は今後も重要なテーマであり、本論文を推薦論文として選定した。

著者からの一言

形式的手法は以前から有効な検証手法と言われながら、具体的な導入については人手による抽象化などを含めた自動化できていない部分が大きな障害となっていますが、本研究においても具体的な設計に対する適用実験が最も苦勞した点でした。このような1つ1つのステップの蓄積により、形式的手法の導入の敷居がより低くなっていくことを望んでいます。

学位論文題目

組込みシステムに適したコンポーネントシステム

EMB

安積 卓也：立命館大学情報理工学部 助教／カリフォルニア大学アーバイン校 客員研究員

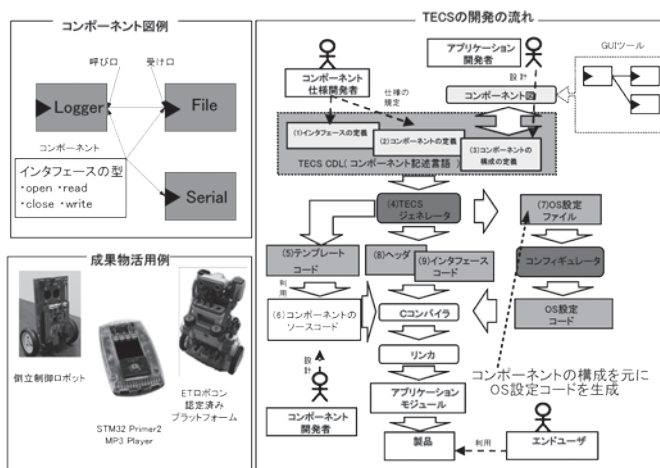
★キーワード

- [背景] 組込みシステムの大規模化・複雑化
- [問題] 組込みソフトウェアの生産性
- [貢献] 静的結合をベースとした組込みシステム向けのコンポーネントシステムの提案

近年、組込みシステムの複雑化・大規模化に伴いソフトウェア生産性が問題となっている。汎用システムにおいてソフトウェア生産性を向上させる手法として、ソフトウェアを機能ごとに分割し得られたソフトウェア部品（コンポーネント）を組み合わせることにより、ソフトウェアを開発する技術が広く使用されている。汎用システムにおけるコンポーネントシステムとして、JavaBeans, COM, CCM (CORBA Component Model) などがある。

組込みシステムでは、メモリなどのリソース制約が厳しく、さらにリアルタイム性も求められる。そのため、コンポーネントシステムを用いることによるメモリ使用量や処理時間の増大を、できる限り避けなければならない。汎用システムでのコンポーネント技術では、実行時に動的にコンポーネントのインスタンス化や結合(以下、動的結合と呼ぶ)が行われる。動的結合では、インスタンス化や結合にかかるオーバーヘッドに加え、コンポーネントを呼び出すための実行時オーバーヘッドも大きくなる。そこで、組込みシステムに適したオーバーヘッドの小さいコンポーネントシステムとして、TOPPERS Embedded Component System (TECS)を提案した。

TECSの開発の流れを図に示す。開発者は、コンポーネント記述言語を用いて、(1)インタフェースの定義および、(2)コンポーネントの定義を行う。定義されたコンポーネントを利用し、(3)コンポーネントの生成・組上げを行い、アプリケーションを構築する。コンポーネントの実装は(4) TECS



ジェネレータが生成した(5) テンプレートコードをもとに、(6) C言語で実装を行う。さらに、コンポーネント記述をTECSジェネレータが読み取り(7) OSの設定ファイルが生成される。

TECSでは、コンポーネントを静的にインスタンス化・結合する静的なコンポーネントモデルを採用した。すなわち、(8)、(9)コンポーネントの属性情報やコンポーネント間を結合するためのコードはTECSジェネレータにより静的に生成される。これにより、インスタンス化や結合にかかる実行時のオーバーヘッドをなくせ、メモリの使用量も削減できる。コンポーネント間を結合するコードをTECSジェネレータにより最適化することで、コンポーネントを呼び出すオーバーヘッドを最小限に抑えるようにした。さらに、さまざまなコンポーネントの呼出しに対応するためのRPC機構を提案し、マルチプロセッサ環境での効率的な呼出しを実現した。

(2011年6月15日受付)

取得年月：2009年10月 学位種別：博士(情報科学) 大学：名古屋大学

推薦研究会：組込みシステム研究会

推薦文：本論文は組込みシステムに適したオーバーヘッドの小さいコンポーネントシステムを提案している。多数の国際会議に採録されていることに加え、本システムを利用したプラットフォームがETロボコンに正式に採用されるなど、実用性の高さも実証されており、組込みソフトウェアの規範となり得る研究であり、推薦論文とした。

著者からの一言

TOPPERSプロジェクトのTECSWGのメンバの協力を得て、TECSの実用化に向け研究を進めています。今後は、RPC機構を利用したRTC(ロボット向けのコンポーネント)との協調動作や、本システムを利用したHW/SW協調設計を視野に入れ研究を行っていきます。

学位論文題目

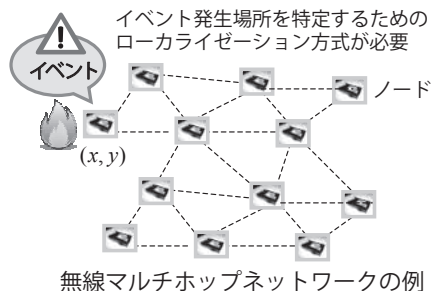
Localization Protocol for Wireless Multi-hop Networks

(邦訳：無線マルチホップネットワークのためのローカライゼーションプロトコル)

竹中 友哉：三菱電機（株） 情報技術総合研究所

★キーワード

- [背景] 既設の通信インフラに依存しない無線マルチホップネットワークの登場
- [対象] ノードの位置を自律的に推定するローカライゼーション方式の開発
- [貢献] 接続関係に着眼したローカライゼーションの高精度化と、通信と測位を効率的に統合するプロトコルの設計



近年のマイクロエレクトロニクス技術の進展により、無線マルチホップネットワークが注目を浴びている。無線マルチホップネットワークは、複数の無線ノードが基地局などの既設の通信インフラに依存せずに、アドホックネットワーク機能を用いてデータを中継して送信元から宛先ノードに届けるネットワークである。無線マルチホップネットワークでは、ネットワーク性能向上やアプリケーションなどの観点から、ノード自身の位置情報を知ることが重要となる。たとえば、温度などのセンサ情報を収集するアプリケーションを考えた場合、各ノードの位置情報が分からないとセンサ情報を収集した場所を特定できない。一般的に位置情報を自動で取得するためにはGPSが有効であるが、屋内では使えない点やハードウェアコストなどの理由から、すべてのノードに搭載することは現実的ではない。そのため、あらかじめ位置を設定した基準点(Anchorノード)を必要最小限に利用して、ネットワーク内のノードの位置を推定するローカライゼーション技術の開発が課題となる。

まず、無線マルチホップネットワークにおいて、ノードを低コスト、高精度に測位するROULA (Optimized Link State Routing-based Localization)を開発した。ROULAは、Anchorノードに依存しないこと、不規則(Non-convex)なネットワークに対応していること、通信プロトコルと親和性があるこ

とを満たすローカライゼーション方式である。ノードが測距デバイスを持たないときに、OLSR (Optimized Link State Routing)で利用されているMPR (Multi Point Relay)ノードを1ホップノードの測距に利用することで、高精度にノードの距離を推定できる特性を明らかにした。また、不規則なネットワークでも、他の手法よりノードを高精度に測位可能であることをシミュレーションで示した。

ここで重要な着眼点は、隣接する2つのノード間の接続数は物理的な距離によって変化するという特性を見出したことにある。この特性を利用して距離を推定するようにした。

次に、既存のアドホックネットワークのルーティングプロトコルOLSRの制御メッセージを利用して、データを届けるのと同時にローカライゼーションを行うプロトコルを設計した。ローカライゼーションの制御パケットとルーティングの制御パケットに共通する情報があることを明らかにし、効率的に統合した。

さらに、既存の携帯型ゲーム端末を利用し、その位置を推定可能なローカライゼーション技術によって得られる測位精度を競い合うという無線マルチホップローカライゼーションゲームの提案を行った。

(2011年6月15日受付)

取得年月：2009年9月 学位種別：博士(情報学) 大学：静岡大学

推薦研究会：モバイルコンピューティングとユビキタス通信

推薦文：本論文は、無線マルチホップネットワークにおける新しい位置推定方式として、ルーティングプロトコルOLSRのMPRsの構造をうまく利用し高精度にノードの位置推定を行う方式と、データ通信プロトコルと統合しオーバーヘッドを抑制する方式を提案し、その有効性をシミュレーションにより示すことで、本分野の発展に貢献した。

著者からの一言

在学中にはMERL (Mitsubishi Electric Research Laboratories, 米国マサチューセッツ州)にてインターンシップを経験し、世界中から集められた優秀な海外学生と交流しながら、研究をする機会に恵まれました。大学の学びを活かして、産業界で貢献できる研究者になりたいです。

学位論文題目

Provable Security of Identity Based Encryption and Application to Design of Efficient Schemes

(邦訳：ID ベース暗号の証明可能安全性と効率的な方式設計への応用)

Peng Yang (楊 鵬)：みずほ情報総研 (株)

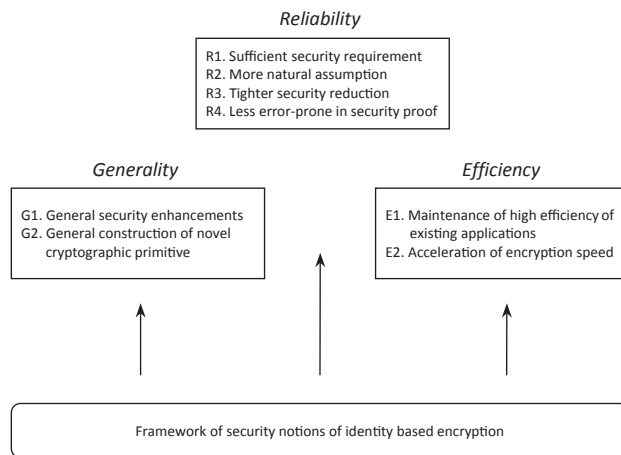
★キーフレーズ

【背景】 暗号理論, ID ベース暗号, 安全性
【問題】 安全性定義, 安全性強化, アルゴリズム, 前進守秘性
【貢献】 証明可能安全性, 信頼性, 汎用性, 効率性

情報セキュリティは、情報処理に関する理論研究の中の新興分野です。暗号理論は、情報セキュリティの理論基盤であり、当分野の中で最も魅力的な研究テーマの1つとも言えるでしょう。特に暗号理論の中でも、ID ベース暗号に関する研究は近年注目を浴びています。新しいID ベース暗号方式の提案、ID ベース暗号に特化した安全性証明技法の開発、および特許成立や国際標準化の推進など、学術的な成果と産業的な成果両方が盛んに発表されています。たとえば、日本の場合、情報セキュリティの全国大会である暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS) では、2005年から「ID ベース暗号」のセッションが設けられ始めました。

この研究は、ID ベース暗号の理論的安全性である「証明可能安全性」について行ったものです。いわば、さまざまなID ベース暗号方式の安全性を理論的数学ツールで厳密に証明する際に発生する問題点を明らかにし、その課題を解決しようとしたものです。

そのため、まず、安全性定義の体系的なフレームワークを提案しました。その後、汎用性・信頼性・効率性この3つの観点を考慮したID ベース暗号方式を設計しました。具体的な研究成果として、最上位秘密情報の安全性を考慮した前進守秘ID ベース暗号方式や、自然な数学的仮定に基づく信頼性の高いID ベース暗号方式など、多様な方式の具体的な構成を示しました。また、高い信頼性に達した汎用的な枠組みを示しました。具体的には、暗号方式に依存せずかつ効率的な安全性強化手法や鍵カプセル化メカニズムなどです。



上述のいくつかの成果は、独立して研究されたものですが、その根底となる基本的な考え方は軌を一にしています。すなわち、ID ベース暗号の証明可能安全性を中心とした信頼性の向上を目指し、それにより新たなID ベース暗号の構成法、強化法、あるいは諸性質について扱うという点で共通しています。それぞれの研究の着眼点に多少の差異はありますが、いずれの場合にも証明可能安全性の捉え方は同一であり、つまり「安全性帰着」がきわめて重要な役割を演じます。

証明可能安全性の研究を通じてより高い信頼性を持つID ベース暗号方式を実現することを博士での研究目的としてきましたが、提案の中の2つはID ベース暗号以外の公開鍵暗号フィールドにも展開できます。

(2011年7月7日受付)

取得年月：2009年9月 学位種別：博士(情報理工学) 大学：東京大学

推薦研究会：コンピュータセキュリティ

推薦文：本論文は、次世代の安全基盤として注目されているID ベース暗号の安全性に関する基礎理論を展開している。数学的に厳密に証明された結果は、将来の電子社会の基礎となるべき高い将来性を期待して、ここに推薦申し上げます。

著者からの一言

就職氷河期に突入した時期に、博論をまとめながら就職活動を並行に走らせたことに大変苦労しましたが、堅忍不拔の精神力が鍛えられました。今後は、松浦研究室で学んだ情報セキュリティに関する専門知識、身に付けた調査研究のノウハウ、および心に染み込んだオープンマインドを発揮し、IT分野に限らず、社会に大いに貢献できるような人材に成長していきたいと思っております。

学位論文題目

ウェアラブルコンピューティングのための 情報提示に関する研究

UBI

田中 宏平：三菱電機（株）先端技術総合研究所 研究員

★キーワード

【背景】期待の高まる「受動的な情報取得」

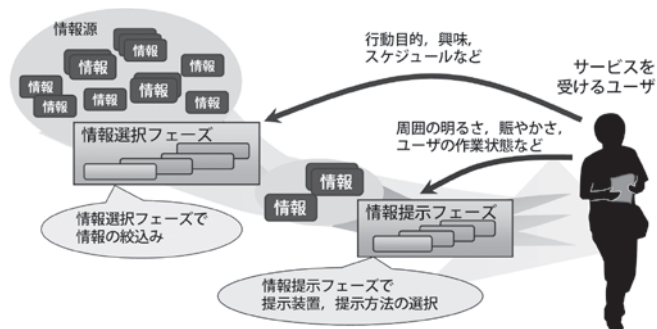
【問題】情報の提示量，提示手段をユーザが決められない！

【貢献】2段階のフェーズによる情報提示

近年，ユーザが常時電源の入ったコンピュータを服のように着て利用できるウェアラブルコンピューティング環境が実現されつつある。ウェアラブルコンピューティング環境では，ユーザは自身の好みに応じて，小型のコンピュータや自分や周辺環境の状態を取得するための装着型センサ（加速度センサ，方位センサ，GPS（Global Positioning System）レシーバなど）に加えて，情報を閲覧するための情報提示装置（ヘッドマウントディスプレイ（HMD：Head Mounted Display），腕時計型ディスプレイ，骨伝導イヤホン，振動子など）を身につけていることが想定される。つまり，ユーザは情報をハンズフリーでいつでも閲覧可能となる。これにより，ユーザがコンピュータにアクセスし情報を取得する従来型の「能動的な情報取得」だけでなく，ユーザが特別な操作なく情報を入手できる「受動的な情報取得」も行えるようになる。

この「受動的な情報取得」で問題となるのは，ユーザの意図した量，手段，タイミングで情報が提示されるとは限らず，ユーザが情報を認識できない，情報に気付けないなどの事態が起こることである。たとえば，移動中のユーザに対して大量の情報が提示されればユーザはその情報を読み切れないし，周囲が明るすぎるとディスプレイでの通知が読み取れないことがある。これらの問題を解決するために，具体例を通じて，ユーザに必要な情報を確実に認識させる仕組みに関して研究を進めた。

本研究では，図に示すように，ユーザに必要なだと考えられる情報を情報群の中から選択する情報選択フェーズ，ユーザの認識しやすい手段で選択された情報を提示する情報提示



フェーズの2つのフェーズで提示を実現している。各フェーズは多岐にわたる技術の集合体となるが，本研究では，情報選択フェーズの一例として(1)移動中のユーザに対する情報選択，情報提示フェーズの一例として(2)光学式シースルー型HMDに対する情報配置手法，情報提示フェーズを実現するミドルウェアとして(3)状況依存情報提示機構の3つの事例にフォーカスし，研究を進めた。

(1)では，移動中のユーザは移動の目的地と目的地までの経路に関連した情報を知りたいという仮定に基づき，ユーザのコンテキスト（移動手段，出発地点，経路の利用頻度，時間帯など）を用いて目的地を予測する手法を実現した。(2)では，光を透過するディスプレイは背面側が明るいと読み取れないという問題に対して，ユーザの視界画像から読み取りにくい領域を算出する式の導出，表示位置を変更する手法を実現した。(3)では，(2)のような各提示装置と状況の認識度合いに関する関係を用いて，適切な提示装置の導出，認識に適した形式に変換する機構を実現した。これらのような技術を組み合わせることで，「受動的な情報取得」を行うユーザに，量や手段をコントロールして情報を提示できる。（2011年6月2日受付）

取得年月：2010年3月 学位種別：博士（情報科学） 大学：大阪大学

推薦研究会：ユビキタスコンピューティングシステム

推薦文：本論文では，装着型情報提示装置に定期的に提示される情報について，日常活動中に閲覧する際に発生する提示情報量と提示手段の問題を，装着者の活動状態や周辺環境を用いて2段階のフェーズで解決する仕組みを提案している。この成果は，国際会議ISMAR 2008に採録されるなど国内外で高く評価されており，推薦に値する。

著者からの一言

博士論文ではウェアラブルコンピューティングに適した情報提示という広い目的に対し，具体的な研究を数行うアプローチをとったため，研究のスコープの表現に苦労した。この経験を活かし，研究の本質を捉えて研究のスコープを明確にし，端的に表現できる研究者になりたい。

学位論文題目

日常生活に溶け込む遠隔コミュニケーション手法

UBI

辻田 眸：東京大学大学院情報学環 暦本研究室 / (独) 日本学術振興会 特別研究員 PD

★キーフレーズ

【背景】 遠隔コミュニケーション支援の必要性
【問題】 日常生活のさまざまな場面に応じた実用的なシステム
【貢献】 日用品や日常の自然な動作に着目したシステム

核家族化や高齢化社会、女性の社会進出などに伴い、離れて暮らす祖父母と孫や、単身赴任の父親とその家族、遠距離恋愛のカップルなどが増加し、遠隔コミュニケーション支援の必要性がますます高まっている。近年、携帯電話やメールなどさまざまな通信手段が普及したにもかかわらず、距離を隔てて暮らす人々のコミュニケーション問題はまだまだ解決されていない。電話やメール、チャットなどは明示的なコミュニケーションツールとして普及してきた。しかしながら、遠隔コミュニケーション支援のためには、明示的なコミュニケーションツールだけではなく、場を共有することで伝わる雰囲気や非明示的な情報を遠隔地の相手に伝達することも重要である。これまでも遠隔地のアウェアネスを伝達する手法も数多く提案されてきた。

本研究では、このような従来の遠隔コミュニケーションシステム（電話やメールなどの通信手段からアウェアネスを対象としたシステムまで）について分析し、課題を整理し、日常生活のさまざまな場面に応じた実用的な遠隔コミュニケーションシステムの提案を行った。できるだけ簡単な情報で、どこまで相手の存在感を伝え、コミュニケーション支援に活用できるのかを追求し、特別な操作ではなく、従来の物の使い方を利用することで、高齢者や子どもなど、誰でも使えるインタフェースの実現を目指す。具体的なアプローチとして、日用品や日常の自然な動作に着目し、3つの新しいコミュニケーションシステムを提案した。

「SyncDecor:物の同期に着目したコミュニケーションシステム」は遠隔地に置かれた家具や日用品、調度品の動きが連動することで相手の行動や状態、雰囲気を知らせるシステムである。



「InPhase:日常の偶然の一致に着目したコミュニケーションシステム」は日常生活における行動の偶然の一致が、話題のきっかけ/親近感/連帯感などをもたらすことに着目し、遠隔地にいる人々の行動が偶然一致したことを伝達する新しいコミュニケーションシステムである。ドアの開閉/ソファへの着席/テレビの視聴などを検出して一致を伝達するシステムを試作した。

「撮っておきコーディネータ:洋服を選ぶ作業に着目したコミュニケーションシステム」は洋服写真の撮影/タグ付けからコーディネート、さらにSNS機能までを連携させ、トータルにファッションコーディネートを支援し、さらにコミュニケーションを誘発するシステムである。

これらの試作したシステムを実際家庭に設置し、長期実証実験を行った。得られた知見を踏まえ、生活環境における遠隔コミュニケーション支援に適したインタフェースの条件/形態/特徴/課題などについて、総合的な知見を示した。

(2011年6月30日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士（理学） 大学：お茶の水女子大学大学院

推薦研究会：ユビキタスコンピューティングシステム

推薦文：本論文では、ランプ、ゴミ箱、テレビ、家具などの日用品を使う動作を遠隔地に伝えることで、家族や親しい友人に日常生活の様子を伝える遠隔コミュニケーションシステムを提案、実装、評価した。この成果は、国際会議 CHI 2010 の登壇発表採択や本学会大会奨励賞を受賞するなど国内外で高く評価されており、推薦に値する。

著者からの一言

博士論文研究では、実際家庭にシステムを設置し、3カ月以上の長期実証実験を行いました。被験者の方の生活を障害しないように、安定的なシステム構築を行うことは大変苦労しました。今後は、これまでの成果を基盤として、日常生活空間における実用的に利用可能な高齢者向けヘルスケア支援システムの研究を行っていきたいと思います。

学位論文題目

ウェアラブルコンピューティングのための 行動認識技術に関する研究

UBI

村尾 和哉：神戸大学大学院工学研究科 学術推進研究員

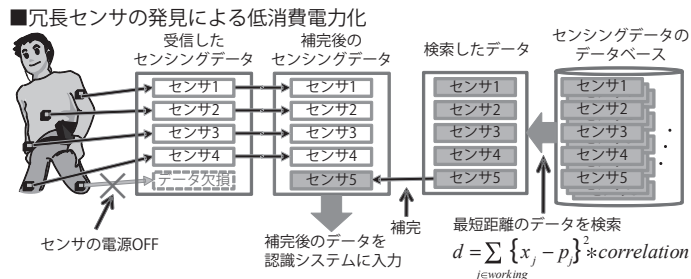
★キーフレーズ

[背景] ウェアラブルコンピューティングと行動認識
[問題] 低消費電力化と高認識精度化
[貢献] 将来のコンピューティングの基幹技術

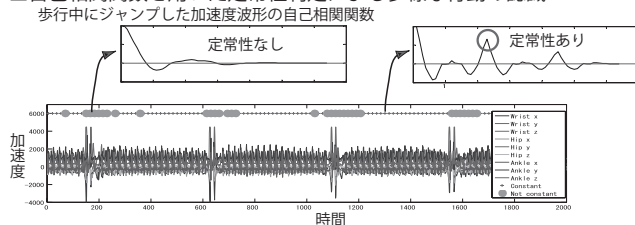
近年の技術発展により人々は携帯電話やPCなどの情報機器を常時持ち歩くようになり、それに伴い小型のセンサを用いてユーザの行動や周囲の状況を認識する行動認識技術に関する注目が集まっている。行動認識技術は機器が人を理解し適応的に動作するための基盤技術であり、将来的には運動不足や過労を警告する健康管理システムや作業内容に合わせた図面の自動提示や作業日誌の自動作成を行う作業支援システムなどへの応用が期待されている。

行動認識技術に関する要求は大きく2つ、低消費電力と高認識精度である。携帯電話をはじめとして現在のモバイルデバイスの大部分はバッテリーであり、特に身体に装着するようなセンサは装着性の観点からサイズや重量の制約が厳しくバッテリー容量が非常に小さいためセンサの省電力化が強く求められる(現在市販されている無線加速度センサの稼働時間は6時間程度である)。また、認識精度は認識結果に基づいて動作するシステムの利便性や操作性に直結し、特にオンラインアプリケーションでは事後の修正が行えないため高精度化がより強く求められる。しかしながら、両者にはトレードオフが存在する。本研究は、センシングデータ処理技術を応用し、片方の性能の低下を最小限に抑えつつ他方の性能を改善する手法を提案するものである。

低消費電力化に関しては、従来は認識精度のみを追求するために多数のセンサを用いてきた。これに対し、要求されている認識精度を満足し、最も消費電力が小さく、その中でも最も高い認識精度を示すセンサの構成を発見することで最適なセンサ構成を実現する手法を提案した。使用しないセンサのデータを他の



■自己相関関数を用いた定常性判定による多様な行動の認識



センサのデータから推測し、擬似的にセンシングデータを生成することで認識精度の低下を最小限に抑えるようにしている。

高精度化に関しては、一般的に認識する行動の種類増加に伴い認識精度は低下するが、特に「座る」や「歩く」などの定常的な動作と「円を描く」などのジェスチャを含めると両者の認識手法の違いから認識精度は著しく低下する。そこで、センシングデータの自己相関関数から行動の定常性を判定し、定常性の有無に応じて認識手法を動的に切り替える手法を提案した。

行動認識システムのための汎用的な性能改善に関する研究は、国内外を通じてこれまでにほとんど行われていなかった。本研究の成果は行動認識システムの実現に向けた大きな一歩となるだけでなく、携帯電話開発やゲーム開発など将来的にさまざまな分野に応用できる、重要な基幹技術であると考えている。

(2011年6月23日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(情報科学) 大学：大阪大学

推薦研究会：ユビキタスコンピューティングシステム

推薦文：本論文は、ウェアラブル環境における装着型センサを用いた行動認識技術において、高い動作信頼性、低消費電力、認識可能な行動の多様化を実現する手法を提案しており、その有用性は高く評価できる。

本研究は、国際会議 Pervasive 2008 への採録や本研究会優秀論文賞を受賞するなど高く評価されている。

著者からの一言

博士論文執筆の最大の苦勞は何と言っても今まで行ってきた複数の研究を大きなテーマのもとに1つにまとめることです。苦勞はしましたが、理論的に弱い点、複数の提案手法の統合可能性などを考えることができ、自身の研究を振り返る良い機会でした。今後はこの分野を牽引できる研究者になるためにより一層研究に邁進する所存です。

学位論文題目

Graph-Theoretic Approaches to Minimally-Supervised Natural Language Learning

(邦訳：グラフ理論的観点からの自然言語処理における弱教師あり学習)

小町 守：奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 助教

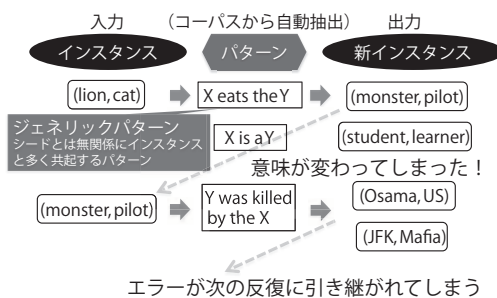
★キーフレーズ

- [背景] 自然言語処理における意味ドリフト問題
- [問題] グラフ理論に基づく意味ドリフトの分析
- [貢献] 少数パラメータで高精度なブートストラッピング手法

自然言語処理におけるブートストラッピング手法は、人手による資源作成のコストを減らすための弱教師あり学習の1つである。ブートストラッピング手法は、獲得対象となるクラス、たとえば is-a 関係の少量のインスタンス(例 (cat, animal)) をシードとして与え、コーパスからインスタンスと共起するパターン(例 "X such as Y") を抽出する。抽出された共起パターンは、そのパターンと共起する別のインスタンスを獲得するために用いられる。このようなステップを反復的に適用することで、人手による介入を最小限にシードインスタンスの数を簡単に増やすことができる。ブートストラッピング手法の考え方は関係抽出や固有表現認識などさまざまな自然言語処理のタスクに応用されている。しかしながら、ブートストラッピング手法には、反復が進むにつれシードインスタンスとは無関係なインスタンスを抽出してしまう、意味ドリフトと呼ばれる傾向がある。

本論文ではまずブートストラッピング手法について概観する。Espresso という最新のブートストラッピング手法について詳述し、実験的な性能を評価する。Espresso は他のブートストラッピング手法より高い性能であることを示し、Espresso に対して3つの修正を行うことでさらに性能が高い Tchai という Espresso 型の新しいアルゴリズムを導く。そして Espresso 型のブートストラッピングアルゴリズムに対してグラフ理論に基づく分析を行い、トピックドリフトと意味ドリフトの関係について示し、2つのグラフに基づく手法を提案する。最後に提案手法を3つの自然言語処理タスクに適用した結果について報告する：語義曖昧性解消、対訳辞書構築、そして意味カテ

意味ドリフトが自然言語処理におけるブートストラッピングの中心的な問題



ゴリ学習である。実験結果によって、提案手法の1つである正則化ラプラシアンは Espresso と同等の性能を持ち、調整が簡単で、大規模データにもスケラブルであることを示す。

本研究の主な貢献は、Espresso 型のブートストラッピング手法における意味ドリフト現象が、Kleinberg の HITS と同じ原因によって引き起こされているのだという事実を、グラフ理論を用いて定式化し、単純化されたブートストラッピング手法を用いて解析的に示した点である。HITS は Google の PageRank に似た手法で、たくさんのページからリンクされているページ(オーソリティ: 権威度) は重要度の高いページである、という仮定に基づき、権威度のスコアを計算する。意味ドリフトの行き着く先が HITS の権威度ベクトルであることが、本研究によって示唆された。また、いくつかの自然言語処理タスクによって、グラフ理論に基づく2つのアルゴリズム(von Neumann カーネルと正則化ラプラシアン) が意味ドリフトの影響を軽減することを検証した。提案手法は Espresso より高い精度を達成し、さらに、先行研究より設定するべきパラメータ数が少ないため、調整が容易である。

(2011年6月17日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(工学) 大学：奈良先端科学技術大学院大学

推薦研究会：自然言語処理

推薦文：少数の事例から大規模な知識獲得を行う弱教師あり学習は自然言語処理の応用で広く使われている。本研究は弱教師あり学習のグラフ理論的分析とともに、大規模データに対してスケールする手法を提案し、実用性も高い。Webの発展に伴って応用が重要になりつつある自然言語処理研究会を代表する博士論文として推薦する。

著者からの一言

大学院から研究テーマを変えたこともあり、本研究は難産でした。共著者の方々に辛抱強く育てていただいた5年間でした。ありがとうございます。Microsoft Research, Yahoo! JAPAN 研究所, Apple Inc. とあちこち行かせもらったのもいい思い出です。今後もしっかりとした研究を積み重ねていきたいです。

学位論文題目

An Analysis of Non-Task-Oriented Dialogs and a Computational Model of Generating Affective Utterances

(邦訳：雑談対話の分析と感情応答生成)

徳久 良子：(株) 豊田中央研究所 研究員

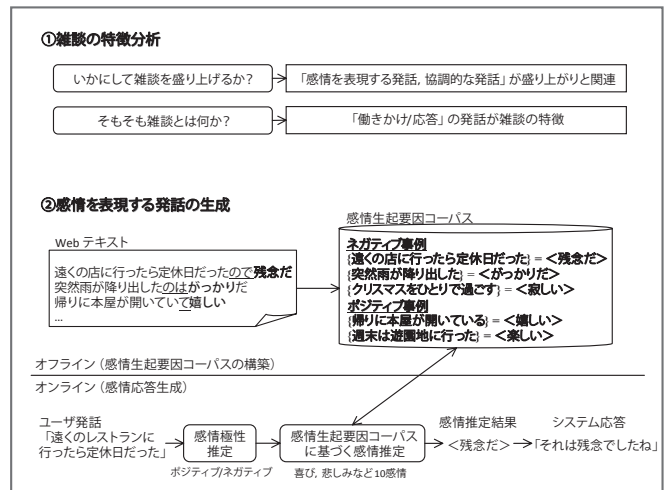
★キーフレーズ

- 【背景】 非課題遂行対話のニーズの高まり
- 【問題】 雑談の特徴解明と、感情を表現する発話の生成
- 【貢献】 人と自然に雑談できるロボット

従来の対話研究の多くは、対話を通して何らかのタスクを遂行する課題遂行対話を対象としていた。一方、ホームロボットのようなアプリケーションでは、課題遂行対話だけでなく話すこと自体を目的とした非課題遂行対話が求められる。このような背景から、人と話すこと自体を目的としたロボットの実現に向けて雑談対話を研究課題とした。

まず、会話分析的な立場から雑談対話の特徴を分析した。はじめに、雑談の盛り上がりに関連する発話を明らかにするため、人間同士の雑談対話を収集し、対話の盛り上がりと発話との関係を調べた。その結果、感情を表現する発話や協調的な発話などが盛り上がりに関連することが分かった。次に、雑談に特徴的な発話を明らかにするため、人間同士の課題遂行対話と雑談対話を収集し、比較することで雑談対話に特徴的に出現する発話を解明した。その結果、雑談対話では「働きかけ/応答」の発話が多く出現することが分かった。雑談対話では、話者が自然に発話のやりとりを継続しようとするためと考えられる。

次に、工学的な立場から、会話分析から雑談に重要と分かった「感情を表現する発話」を対象として、ユーザ発話の意味する感情の推定方法を提案した。具体的には、次の手順で感情の推定を行う。まず、World Wide Web上のテキストから「感情生起要因コーパス(感情正規の要因となる事例集)」を自動構築する。図に示す通り「遠くの店に行ったら定休日だったので残念だ」という表現から「遠くの店に行ったら定休日だった」が「残念」という感情を引き起こす事象であることを自



動構築する。このような方法で約 139 万件の感情生起要因コーパスを構築した。次に、入力されたユーザ発話の類似事例を感情生起要因コーパスから検索することにより応答文を生成する。ここで、感情極性(ポジティブ/ネガティブ)を推定した後に、感情(嬉しい、悲しいなど 10 種類)を推定するようにした。評価実験の結果、我々の提案手法は、従来手法より有意に高い精度で感情を推定できることが分かった。

これまでもしぐさや表情などで感情を表現し人とコミュニケーションするロボットが提案されている。本研究成果を応用し、人の発話を促したり、人の発話の意味する感情を表現したりしながら対話することで、より自然で豊かに人と雑談できる会話ロボットが実現できると考える。

(2011年6月14日受付)

取得年月：2009年9月 学位種別：博士(工学) 大学：奈良先端科学技術大学院大学

推薦研究会：自然言語処理

推薦文：ホームロボットのようなアプリケーションでは、いわゆる雑談の実現が求められる。本論文では、雑談対話の実現に向けて、「いかにして盛り上がる雑談を実現するか」を解析した上で、対話の盛り上がりに関連の深い「感情を表現する発話」の生成手法を考案した。対話アプリケーションに直結する論文として本論文を推薦する。

著者からの一言

人と雑談できるロボットを目指し、「そもそも雑談とは何か」という根本的な問題から研究にとりかかった。手探りではあったが、1つ1つ課題を明らかにする喜びも大きかった。少子化・超高齢化社会の中で情報処理技術に求められる形も少しずつ変わりつつある。今後もビジョンを持って世の中に役立つ研究に従事したい。

学位論文題目

Statistical Machine Translation Using Large-Scale Lexicon and Deep Syntactic Structures

(邦訳：大規模辞書及び深い文法構造を用いた統計的機械翻訳)

Xianchao Wu: 日本電信電話(株) NTTコミュニケーション科学基礎研究所 リサーチアソシエイト

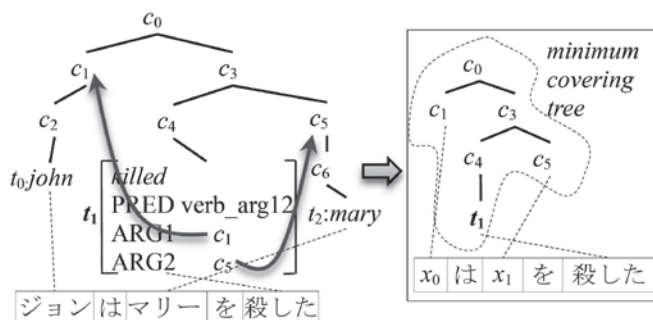
★キーフレーズ

- [背景] 統計的機械翻訳の実用化に向けて
- [対象] 中国語テキストからの新語対訳辞書の獲得, 主辞駆動句構造文法の深い構文解析の利用
- [貢献] 英中および英日翻訳における改善

統計的機械翻訳 (Statistical Machine Translation ; SMT) を実用レベルにするために解決すべき課題は多い。本研究では、「科学技術文書において頻繁に現れる多数の新語への対応」と「意味的な依存関係を含む深い構文解析の結果の利用」という2つの課題について取り組んだ。

中国語テキストにおいて新語が使用される場合、その新語を説明するための英語翻訳が括弧内に入った形で付加されることがしばしばある。このような括弧表現から中英翻訳対を抽出するための、半教師付き学習手法について研究した。中英翻訳対を抽出するにあたって、括弧内の英語テキストに対応する中国語フレーズの範囲を正確に同定することが必要となる。本研究では、音訳・翻訳モデルを抽出した翻訳対の上で再訓練し、これを用いて括弧内の表現に対応するフレーズ範囲を同定するようにした。提案手法を300ギガバイトの中国語Webページや技術論文に適用した結果、110万語の辞書が得られ、精度は77.7%であった。この結果は、教師なし学習を用いた先行研究に比べ、より良い結果である。

構文解析手法のうち、主辞駆動句構造文法 (Head-driven Phrase Structure Grammar ; HPSG) パーザは深い構文解析結果を出力する。この深い構文解析結果をSMTモデルに取り組み込むことを目的として、いくつかのアルゴリズムを提案した。まず、HPSG構文解析木を利用した翻訳規則を抽出するためのアルゴリズムが必要である。このアルゴリズムには、文脈自由文法の構文木から翻訳規則を抽出する既存アルゴリズム



を拡張することで実現した。次に、HPSGによる構文解析結果に含まれる意味構造(述語項構造)を利用するため、意味構造の基本単位に対応する部分木を特定し、それを木構造から文字列への翻訳ルールとして利用することを提案した。図は、「kill」の意味構造を用いて翻訳ルールを抽出することを説明するものである。これらの部分木は「文中の各述語について、その述語に対応する単語と、その項に対応する単語を被覆するもの」として定義され、このような部分木を特定するための線形時間アルゴリズムも提案した。

大規模なパラレルコーパスを用いたさまざまな実験において、HPSG構文解析を用いた双方向木構造—文字列のSMTモデルは、英中および英日翻訳において従来法に比べBLEUスコアによる評価が大きく改善された。第1の課題で獲得した大規模英中辞書を用いることにより、英中翻訳のさらなる改善ができる。

(2011年6月6日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(情報理工学) 大学：東京大学

推薦研究会：自然言語処理

推薦文：本論文は、実用レベルの翻訳システムの構築を目標として、専門用語を含む新語にも柔軟に対応可能な大規模対訳辞書、および、文の意味的な構造に基づく翻訳規則の獲得および適用手法を新たに提案し、大規模なデータセットを用いた評価実験を通してその有効性を示したもので、統計的機械翻訳分野へ大きく貢献する内容である。

著者からの一言

恩師の辻井潤一教授をはじめ、(元)東京大学辻井研究室の皆様のおかげで、無事に博士論文を完成できました。研究の今後の展望としては、木と森で表現される深い文法構造のさらなる活用、翻訳ルールの汎化、異なる構文解析パーザとの結び付きなどが考えられます。

学位論文題目

Reflectance Analysis of Layered Surfaces using a Multispectral Image

(邦訳：マルチスペクトル画像を用いた層状表面物体における反射率解析)

森本 哲郎：凸版印刷（株）

★キーフレーズ

[背景] 文化財などをデジタルデータとして保存する文化財モデル化

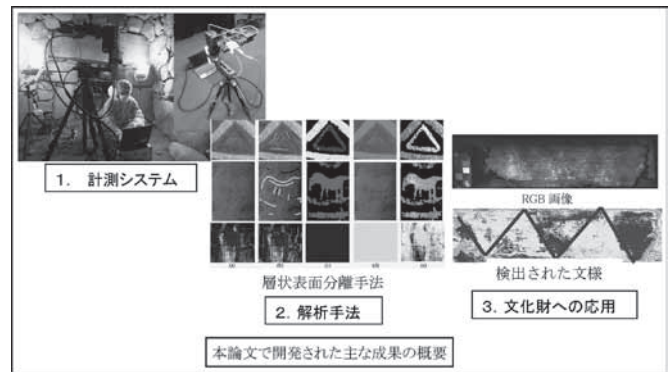
[問題] 真の色情報であるスペクトル反射率の取得および処理

[貢献] マルチスペクトル画像取得システムと層状表面物体解析手法の開発

近年、劣化防止の目的で公開が制限されているもの、崩壊の危機にある文化財や過去の芸術作品などを、デジタルデータとして保存する文化財モデル化が各方面で注目されている。文化財モデル化で保存されたデジタルデータは、公開が制限された文化財の公開・鑑賞のためだけでなく、文化財の保存・修復のための解析などにも利用される。そのため、いかに本物の持つ情報を保存できるかが文化財モデル化の重要なポイントになる。

保存すべき情報のうち、色情報は重要な要素である。色情報の取得はデジタルスチルカメラ（DSC）に代表される RGB 画像による撮影システムが一般的である。しかし、撮影された色情報は、機器の特性や撮影時の照明のもとでの色情報であり、その再現は必ずしも正確な色である保証はない。条件等色（分光反射率が異なる 2 つの色が、特定の照明下において同じ RGB 値を持つ現象）などの現象に見られるように、RGB のみの情報により記録された画像では実世界における照明変化による色の見えを正確に再現することは難しい。正確な色情報を保存するためには、「真の色」情報である対象物のスペクトル反射率を記録する必要がある。物質固有の情報であるスペクトル反射率を用いれば、RGB 画像より高精度に物体解析を行うことが可能である。

しかしながら、スペクトル情報は高精度な情報である反面、2次元のスペクトル情報であるマルチスペクトル画像を実環



境において精度よく効率的に取得し、処理することは難しい。特に文化財は屋外環境や非常に暗い環境下にあるものが多いため、高精度のマルチスペクトル画像を効率よく撮影することは困難である。また、文化財の表面は、劣化などにより下地と表面層による複雑な反射・吸収特性を持つため、表面の色領域を正確に抽出することは難しい。

このような理由から、本研究では、文化財モデル化のためのマルチスペクトル画像の取得システムを開発し、これから得られるマルチスペクトル画像を用いて物体を色解析する手法を提案し、実際に応用することを目標とした。具体的には、2つのマルチスペクトル画像取得手法と2つの物体解析手法を提案した。また、これらのシステムおよび解析手法を用いて古墳の壁画解析やバイヨン寺院の着生物解析を行った。本研究では、文化財モデル化のためにマルチスペクトル画像の取得手法および物体解析手法を設計したが、これらの手法はスペクトル画像を用いる医用画像解析、農産物検査、衛星航空画像解析、絵画解析などの応用分野にも利用可能であると考える。

(2011年6月15日受付)

取得年月：2009年9月 学位種別：博士（情報理工学） 大学：東京大学

推薦研究会：コンピュータビジョンとイメージメディア

推薦文：文化財の色情報をモデル化するための多波長画像取得・処理手法を開発することを目的とする。パンチルト台を利用し画像と波長の両方で高解像度を実現し、多層反射モデルを解析する手法を提案したことで有効性も高い。以上より、本論文は「博士論文速報」に推薦するに相応しいと考え、ここに推薦する次第である。

著者からの一言

企業の技術者を7年間経験した後、自身の技術力に限界を感じたことがきっかけで博士課程に社会人学生として入学しました。新しい分野、会社との二重生活で苦労も多々ありましたが、研究室の方々、家族などの協力もあって無事修了することができました。今後は世界にインパクトを与えられるような研究者を目指し、邁進していきたいと考えております

学位論文題目

行動特徴に基づく人物追跡

CVIM

杉村 大輔：(株) 富士通研究所

★キーフレーズ

[背景] 安全安心な社会環境の実現に向けた人物行動計測技術への期待

[対象] どこに人物がいてどのように動いているかの推定

[貢献] 行動特徴を活用した人物追跡手法の提案

安心・安全な社会環境の実現のために、監視カメラの普及が進んでいる。犯罪の未然防止、事件の早期解決のためには、監視カメラが観測する視野内において何が起きているかをシステムが自動的に理解することが重要となる。人間の行動をシステムが理解するためには、どこに人物がいてどのように動いているのかを認識する人物行動計測技術が必要であり、その技術の確立への期待は大きい。このような社会背景のもと、人間の行動計測において最も重要な人物追跡について研究を行った。

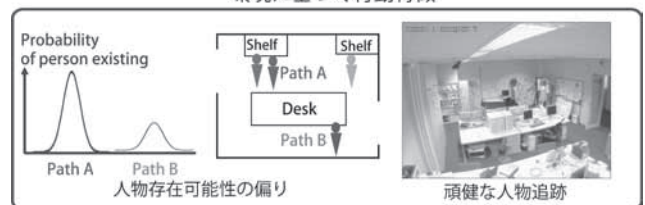
実環境において頑健に対象の人物を追跡するためには、複雑な背景、追跡対象の見えの変化、障害物による遮蔽など、行動計測の性能低下を引き起こすさまざまな問題へ対処しなければならない。このような問題に対処するため、行動特徴に基づいた人物追跡手法を開発する。

行動特徴とは、個人が持つ行動に関する特性のことである。本研究では、環境に基づく行動特徴、人物の個性に基づく行動特徴の2つの行動特徴を考えた。

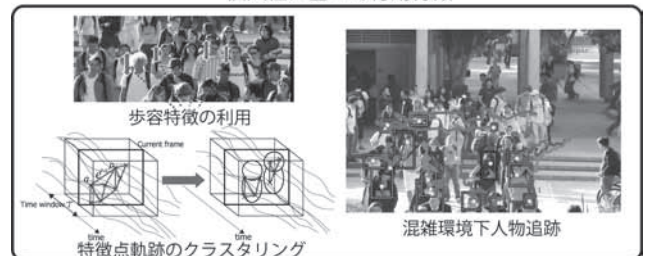
環境に基づく行動特徴とは、対象とする環境により特徴付けられる人物の行動の偏りを指す。たとえば、オフィスなどの屋内環境を想定した場合、机などの配置により人物の行動しやすい領域に偏りが生じる。このような環境に即した行動の特徴を活用することで、屋内環境下での人物追跡の高度化を実現した。

一方、個性に基づく行動特徴とは、人物が生来持つ行動

環境に基づく行動特徴



個性に基づく行動特徴



の癖に基づくものを指す。個性は各人が持つ固有の性質であるため、個々の人物を識別するための指標として利用できると考えられる。そこで本研究では、歩容特徴と呼ばれる、個々の人物の歩き方によって特徴づけられる個性を用いた人物追跡手法を提案した。これにより、ラッシュ時の駅の構内など視野内に多数の人物が存在するような混雑環境において、頑健な人物追跡を実現した。さらに、歩容特徴を活用することにより、遮蔽により分断される人物の動線を対応づける枠組みも実現した。

本研究により得られた成果は、非定常行動検出や行動認識といった、人物の行動理解へ向けた研究への活用が期待される。

(2011年6月15日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(情報理工学) 大学：東京大学

推薦研究会：コンピュータビジョンとイメージメディア

推薦文：混雑環境下における画像列から人物を頑健に追跡することを目的とする。頑健な追跡のために、環境情報や個人の歩容特徴を推定し利用するというアイデアは斬新で有効性も高い。以上より、本論文は「博士論文速報」に推薦するに相応しいと考え、ここに推薦する次第である。

著者からの一言

博士課程では、限られた時間の中で研究成果を出さなければならない重圧に苦しみました。そんな中、著名な国際会議に論文が採択されたことは大きな自信になりました。集大成として書き上げた博士論文は、今後研究者として活躍するための大きな糧になると思っています。博士課程の間に培った知識を基に、世界に名だたる研究者になれるよう、努力していきたいと思っています。

学位論文題目

Outlier Detection for Robust Parameter Estimation Against Multi-modeled/Structured Data

(邦訳：複数モデルや構造データに対するロバストなパラメータ推定のためのアウトライヤ検出手法)

Ngo Thanh Trung：大阪大学 産業科学研究所 特任研究員

★キーフレーズ

[背景] 大量のノイズに埋もれたデータから意味のある情報を抽出する必要性

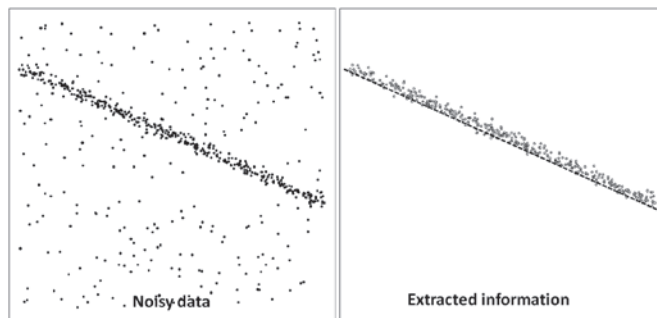
[問題] ランダムサンプリングに基づく手法の自動化

[貢献] さまざまな用途に応用が可能な自動ランダムサンプリング法

本研究では、非常にノイズが多く複雑な構造のデータから情報を取り出す統計的手法を開発しました。計算機科学や統計学の分野では、大量のノイズに埋もれたデータから、意味のある情報を抽出しなければならないという状況がしばしば発生します。そのような情報抽出のためには、その情報を支持するデータ（インライヤ）と、混乱させるノイズ（アウトライヤ）を明確に区別する必要があります。たとえば図の左のもののように多数の点群があり、そのうちのいくつかの点群はある直線上に並んでいることが分かったとします。この入力から図の右のもののように直線のパラメータ（位置や角度）を推定するためには、どの点群が直線をサポートするのか、どの点群は単なるノイズなのかを分ける必要があります。

このような場合には、ランダムサンプリングに基づく手法が有効であることが知られています。この方法では、いくつかの点が無作為に抽出し、この点から計算される解の候補を列挙し、データからどれだけ支持が得られるかを投票によって決めます。ここで、最も投票数が多かった、すなわちデータからの支持が多かった解候補が最適解であるとして選択されます。このような原理であるため、たとえばデータのうち90%がアウトライヤであるような大量のノイズが存在する場合にも、ランダムサンプリングを用いるとうまく解を見つけられる場合があります。

これまで、ランダムサンプリングの研究では、どのように



すれば効率よくランダムサンプリングできるかという戦略や、投票によるスコアをどのように評価するのが効果的かといったテーマが取り扱われてきました。それに対して、本研究では、そもそもどのように投票からスコアを計算するのかという問題に取り組みました。多くの問題では、インライヤの統計的分布という事前知識が既知で、あらかじめ解析できる場合があります。そのような事前知識を利用することで、ユーザによるパラメータ調整などの助けを借りることなく、完全に自動的に投票のスコアを計算できるようにする手法を提案しました。

提案したランダムサンプリング法はさまざまな用途に応用が可能です。たとえば、ステレオカメラやレーザレンジファインダで計測した壁や建物から、平面や線分などの構造物を自動的に見つけることができるようになります。また、カメラで撮影した映像から、ロボットの動き情報を正確に推定することもできます。さらに、小さな画像を組み合わせると大きなパノラマ画像を生成したり、ノイズのある顔写真の集合から特定の人物を探したりと、多くの応用が期待されます。

(2011年8月8日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(工学) 大学：大阪大学

推薦研究会：コンピュータビジョンとイメージメディア

推薦文：画像などの実データから頑健にモデルパラメータを推定するために、異常値を正確に検出することを目的とする。データノイズが正規分布に従うという自然な仮定に基づき正常値を検出する手法を提案したことで実用性も高い。以上より、本論文は「博士論文速報」に推薦するに相応しいと考え、ここに推薦する次第である。

著者からの一言

博士号を取得するのはとても大変でした。しかし、計算機科学分野の研究に貢献できることは、とても喜ばしいことであり、やりがいがあると感じています。

学位論文題目

Interactive Information Sharing System using Large 3D Geometric Models

(邦訳：大規模3次元モデルを用いたインタラクティブ情報共有システム)

岡本 泰英：カリフォルニア大学バークレー校 博士研究員／東京大学生産技術研究所 博士研究員

★キーフレーズ

- [背景] 文化財の3D デジタルアーカイビング
- [問題] 大規模3D データによる直感的な文化財データベース
- [貢献] 誰もがアクセスできるデジタルコンテンツへ

近年、世界中にある破壊や消失の危機に瀕した文化財を保護・修復する活動が盛んに行われている。そうした活動の中で、文化財を3次元デジタルデータとして保存する、デジタルアーカイビング活動が注目を集めている。3D デジタルアーカイビングでは、文化財の形状や色をレーザーセンサなどを用いることで取得し、コンピュータ上に3D モデルとして保存し、そうしたデータを文化財の修復や、文化財が失われた際の復元に役立てる。近年ではセンシング技術の発達により、高解像度かつ大規模な3D モデルの取得が可能となっている。

このような背景のもと、取得した3D モデルを利用して、さまざまな人が文化財に関する画像など他形式の情報へ直感的にアクセスすることができる3D 情報共有システムを提案した。このシステムでは、高解像度で取得された文化財モデルの中に含まれる特徴的な形状、たとえば石材や柱、細部に施された彫刻や像といったさまざまなオブジェクトを、文化財に関する画像や研究データなどの他形式の情報へのインタフェースとしている。ユーザは3D モデルを自由に閲覧しながら関連づけられた情報へアクセスすることができ、従来のデータベースに比べ直感性の高いシステムを実現している。

この3D モデル中の特徴的な形状部分を定義する際、複雑なモデル中から望む部分をコンピュータの画面上で正確に指定するのは難しいという問題があった。本研究では、グラフィカットによる画像分割の手法を3D モデルに適用し、ユーザアクションに基づいて形状・見た目の変化が大きい部分を自動的に切り出すことで、ユーザが容易に特徴形状を選択することを可能としている。



また、3D モデルを用いる場合、リアルタイム描画によってユーザが自由にかつシームレスに視点を設定し閲覧できることが重要である。しかし、RAM 容量を超えるようなサイズの文化財3D モデルはリアルタイムに描画することが難しい。そこで木構造からなる階層的な形状データと、あらかじめモデル周囲の複数の視点から描画した画像群を利用することで、高速かつ少ないデータ量でのリアルタイム描画を実現した。この手法は、3D モデルがリモートにある場合においても、通信量が少なく高速な描画を可能にする。

この研究で提案したシステムにより、専門家だけでなく一般の人々も含めたより多くの人々が文化財に関する情報へ容易にアクセスすることが可能となり、文化財教育や観光促進に大きく役立つと考えられる。また、大規模な3D データの直感的インタフェースとリアルタイム表示手法は、他分野にも応用できる。

(2011年7月31日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(情報理工学) 大学：東京大学

推薦研究会：コンピュータビジョンとイメージメディア

推薦文：3次元デジタルデータを高速にレンダリングし、簡便にアノテーションを加えるためのシステムの構築を目的とする。3次元データの機械学習への応用を考えた際、データベース作成において簡便なアノテーションは不可欠である。以上により、本論文は「博士論文速報」に推薦するに相応しいと考え、ここに推薦する次第である。

著者からの一言

私は情報科学という分野に進みながらも、子供の頃から歴史・考古学といった分野が大好きで、博士論文としてそうした異なる分野を結び付ける研究ができたことには本当に嬉しく思っております。文化財の保護や観光資源としての活用は、多数の文化遺産を持つ我が国にとって、これからも重要なテーマであり、そうした活動をこれからも情報技術によって支える一助になればと思っております。

学位論文題目

身体接触をインタフェースに応用した 電子楽器システムに関する研究

MUS

馬場 哲晃：公立大学法人 首都大学東京

★キーフレーズ

【背景】 技術革新によるコミュニケーション手段の拡張
【問題】 効率性の追求とは別の技術のあり方の創出
【貢献】 さまざまな場面に身体接触インタフェースを

バーチャルリアリティ、インタラクション技術のめざましい発展は、コミュニケーション手段の可能性をたえず拡張している。こうした技術革新が推し進めるコミュニケーション経験の変容は、私たちの今後の社会生活や文化全般にもさまざまな影響を及ぼすと考えられる。テクノロジー本来の役割が「人間を豊かにする」ことであるのは、言をまたない。ところで、現代における技術革新を根幹において支えている動機は、利便性や簡易性の追求、つまり効率性の追求ではないだろうか。しかし、「幸福」や「豊かさ」は必ずしも効率性を追求することで実現できるわけではない。効率化を技術の「良き使用」の唯一の公準とする現代におけるテクノロジーのあり方と、そこから帰結する人間とモノとの固定したあり方に、1つのアンチテーゼを提示することが本研究における基本的動機である。

効率性の追求とは別の技術のあり方として本研究で考えるのが、人間同士の楽しいコミュニケーションを促進する媒介としての技術のあり方である。さらに本研究が目指すのは、人間が古来より利用してきた対面コミュニケーションの1つである身体接触行動(スキンシップ)である。この身体接触行動を応用した電子楽器をその具体的実現の事例として研究する。すなわち、本研究の目的は、身体接触をインタフェースに応用した電子楽器システムの開発と改良、およびそのインタラクションシステムが持つ可能性と価値の創出である。

身体接触を検知するセンサモジュールに市販品は存在しないため、本研究ではセンサモジュール開発をデザインモデル制作と同時に行った。皮膚電気活動を利用することで、ON/OFF 検



知のほか、これまでの身体接触を利用したインタラクションにはない「強弱検知」と「組合せ検知」を実現した。また、これらセンサモジュールでは楽器演奏に耐え得る応答速度と精確性を実現した。デザインモデルでは大きく分けてライブパフォーマンスモデルと玩具モデルの2種類のブラッシュアップを繰り返した。

電子楽器制作工程においてはユーザ評価による改良を重視した。本研究では1.センシングモジュール開発、2.デザインモデル制作、3.ユーザフィードバック&ユーザ評価という3つの段階を1つのプロセスとし、これを3度繰り返し、作品改良を続けた。図はその工程にて制作した一連のプロトタイプと使用風景である。

研究過程を通じて、電子楽器に限らない芸術表現やエンタテインメント、教育施設での利用における身体接触インタフェースの可能性を合わせて提案した。特に電子楽器システム開発で獲得した知見をもとに、ビデオゲームシステムを実装し、具体的な応用事例の提案も行うことができた。

(2011年6月15日受付)

取得年月：2010年2月 学位種別：博士(芸術工学) 大学：九州大学

推薦研究会：音楽情報科学

推薦文：本論文は身体接触をインタフェースとして扱う電子楽器に関して、その技術開発からプロトタイプ制作のプロセスをまとめており、芸術表現と工学を融合したユニークなものづくりを実践している。ここでの成果は国内外コンペティションにて高く評価されたほか、商品化されたことで今後の将来性が期待できる。以上の理由から本論文を推薦する。

著者からの一言

論文としての骨子作成に多くの時間を費やしました。芸術でも工学でもない芸術工学という分野にありながら、本会シンポジウム、研究会等にて、有益なアドバイスをいただいた方々にこの場をお借りして感謝を申し上げます。ここでの成果は電子楽器「フレクトリックドラムス」として、全国発売をすることができたことを合わせて感謝・報告いたします。

学位論文題目

Statistical Modeling for Recognizing Singing Voices in Polyphonic Music

(邦訳：統計的モデル化に基づく混合音中の歌声認識)

藤原 弘将：(独) 産業技術総合研究所 研究員

★キーフレーズ

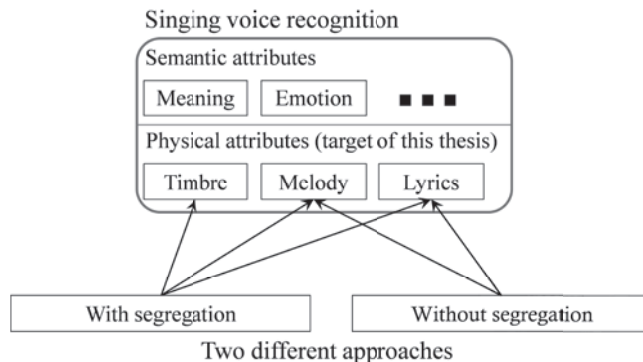
- 【背景】 人間のように歌声を聞き分けられる計算機の実現
- 【問題】 混合音中の歌声から、声質、メロディ、歌詞の3つの要素を認識
- 【貢献】 内容に基づく音楽検索や高度な音楽鑑賞インタフェースへの応用

人間は歌声とさまざまな伴奏音や環境音が混ざった音の中から、歌声を聞き分けることができる。そのような人間の生まれながらの能力と比べると、計算機が実世界の音情景を認識する能力はいまだ不十分である。本研究では、人間のように歌声を聞き分けられる計算機の実現を目的とし、計算機による多重奏音楽中の歌声の自動認識の問題に取り組んだ。計算機による歌声の理解は、音楽コンテンツのメタデータ自動記述や、内容に基づく音楽検索、高度な音楽鑑賞インタフェースなどさまざまな応用があり、産業的な観点から重要である。また、歌声の研究はさまざまな研究分野にまたがる複合的な領域のため、学術的にも重要である。

本研究ではまず、計算機による歌声理解の実現に必要な要件について検討し、声質、メロディ、歌詞の3つの要素の認識が重要であることを示した。それらの3つの要素に対応する課題として、歌手名同定、基本周波数 (F0) 推定、音素の認識に基づく音楽と歌声の時間的対応付けの3つの課題に取り組んだ。

歌手名の同定のためには、伴奏音の影響を低減し、歌声の特徴をよく表現する特徴量を抽出する必要がある。そのため、伴奏音抑制法と高信頼度フレーム選択法の2種類の手法を開発した。これらの手法を利用することで得られた特徴量から学習した混合ガウスモデル (GMM) によって、楽曲の歌手名を同定する。

メロディの認識を実現するために、多重奏音楽中のボーカルパートの F0 推定に取り組んだ。本研究では、F0 推定の問題を統



計的にモデル化することで、音源認識と多重 F0 解析の2つの別々の問題に分割した。それぞれの問題を解いた上で、ビタビ探索に基づく効率的な手法により、歌声の F0 軌跡を推定するようにした。

歌詞の認識の実現に向けての第一段階として、音楽音響信号と対応する歌詞の時間的対応付け手法を開発した。クリーンな音声信号とその書き起こし文を時間的に対応付ける手法はこれまで存在したが、伴奏音の悪影響で伴奏を伴う歌声には適用できなかった。そこで本研究では、伴奏音抑制手法に加えて、歌声区間検出手法、頑健な音素ネットワークの作成手法、摩擦音検出手法、クリーン音声から分離歌声への音響モデル適応手法の4つの手法を開発することで、この問題を解決した。

さらにこれらの手法をもとに、声質の類似度に基づく音楽検索システム、歌詞を利用した音楽鑑賞支援インタフェースなどを開発した。

最後に、多重奏中の歌声の声質、F0、音素を同時に推定可能な手法の開発にも取り組んだ。この手法の重要な特徴は、歌声とその他の伴奏音が混った状態をモデル化したことである。

(2011年8月2日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(情報学) 大学：京都大学

推薦研究会：音楽情報科学

推薦文：本論文は、伴奏を含む音響信号中の歌声を計算機で認識することを目的とし、歌声の声質・メロディ・歌詞の3つの要素を対象に、それらを認識するための学習データに基づく統計的な手法を提案しており、多重奏中の歌声認識の中心となる大きな将来性を持つ研究として高く評価できる。以上の理由から本論文を推薦する。

著者からの一言

産業技術総合研究所に勤務しながら京都大学の社会人博士課程で取得した学位ですので、距離的にも時間的にも負担はありましたが、無事修了し学位を取得できたことを非常にうれしく思います。

学位論文題目

Model and Analysis for Effective Contents Distribution

(邦訳：効率的なコンテンツ流通のためのモデル化と分析に関する研究)

SRIPRASERTSUK Pao: 早稲田大学大学院国際情報通信研究科 助教

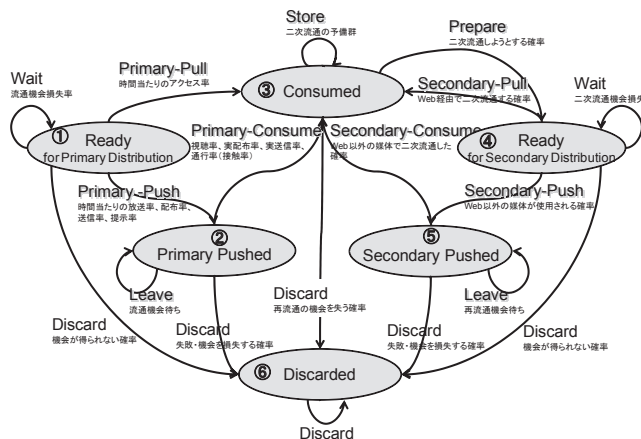
★キーワード

- [背景] コンテンツ流通環境の発達
- [問題] コンテンツ流通モデルとその解析手法の不在
- [貢献] 二次流通およびその中での違法流通の分析を可能に

コンテンツ流通環境には一次流通と二次流通の2種類の情報流通が存在する。一次流通とはコンテンツ提供者、配信者から消費者までの流通を指し、二次流通は消費者間の流通を指す。コンテンツ流通環境にはさまざまな問題がある。たとえば、膨大なコンテンツの中から好みのコンテンツを効率的に入手することが困難になっていることや、増大する違法流通がコンテンツ産業に多大な影響を与えていることなどがある。また、コンテンツを流通する際にさまざまな手法や技術があるが、どの手法が効果的かを計測する効率的な方法はまだ存在しない。上記の問題を解決するため検討すべき重要な要素として、メタデータ(嗜好情報)自動更新システム、および、コンテンツ流通モデルとその解析手法がある。

現在、さまざまな自動的なメタデータ更新システムが研究されているが、従来の手法では動的な変化嗜好に対応できないという問題があった。本研究では、消費者のフィードバック情報を利用し、消費者の嗜好情報を自動更新できるシステムを提案した。これにより、コンテンツ検索の不一致を解消し、いつでも消費者の嗜好に合った快適なコンテンツ消費環境を提供できる。これは、消費意欲を向上させ、それに伴い流通も増加することが期待される。

次世代のコンテンツ流通を分析するためには、一次流通と二次流通の両方を分析する必要がある。しかし、全体の流通を分析できるようなコンテンツ流通モデルと手法はまだ存在していない。特に二次流通は我々の社会にすでに重要なものと認識されており、その影響力を無視することはできなくな



った。また、違法なコンテンツの二次流通の効果を分析する必要も出てきた。二次流通を効率的に分析するには人間関係ネットワークも考慮する必要がある。人間関係ネットワークの構成については、Small World Networkと呼ばれるモデルの研究があり、さまざまな分野で応用されている。コンテンツ流通の分野では、その上で伝染病のモデルであるSIRモデルが一般的に利用されているが、適切ではないとも考えられている。

そこで本研究では、一次流通および二次流通の両方を分析できるモデルと手法を提案し、実証実験を行った。これによりさまざまな流通手法の分析ができ、流通の効果を高めるか減らすかが検出できるようになる。また、二次流通を効率的に分析するためのモデルと手法を提案し、二次流通の効果をSmall World Network上で最大化することが可能になる成果を出した。さらに、二次流通の違法流通の分析も行い、さまざまな違法流通の現象を分析し、その流通を防止することを可能にする成果を出した。

(2011年6月14日受付)

取得年月：2009年6月 学位種別：博士(国際情報通信学) 大学：早稲田大学

推薦研究会：電子化知的財産・社会基盤

推薦文：本論文は、効率的なコンテンツ流通を実現するための解析基盤、モデル構築、分析手法について論じたものであり、その研究成果は本研究会および本会論文誌にも発表されている。コンテンツ流通を通して、デジタルコンテンツ社会の設計指標のいくつかを分析・検証できる手法を確立した論文として高く評価できる。

著者からの一言

本論文は円滑および効率的なコンテンツ流通の実現を目指し、嗜好情報自動更新システムとコンテンツ流通のモデルと分析手法を提案。さまざまな流通の手法を効率的に分析でき、流通の効果を高めるか減らすかの検出を可能にした。また消費者間のコンテンツ流通の効果をSmall World Network上で最大化させることが可能になった。

学位論文題目

棋譜データに基づく、ゲーム木探索の性能評価

GI

竹内 聖悟：東京大学大学院総合文化研究科 研究生

★キーフレーズ

【背景】 ゲームプログラミングにおける研究の発展

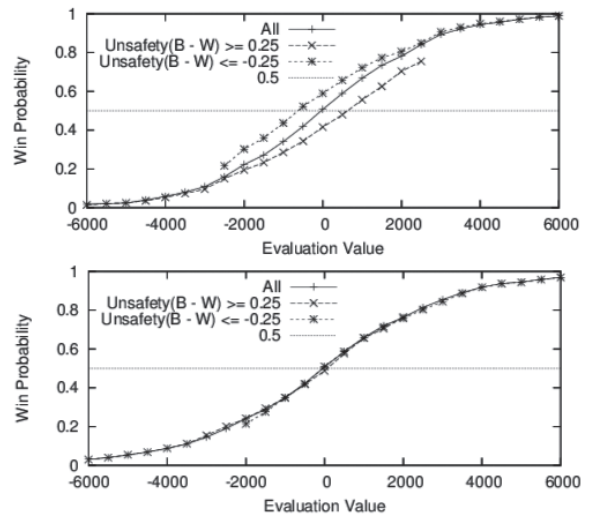
【問題】 改良の有効性を評価する手法の改善

【貢献】 棋譜データを用いた性能評価手法の提案と評価

ゲームプログラミングでは、先読みを行う探索と形勢判断を行う評価関数が重要である。コンピュータ将棋では機械学習による評価関数のパラメータ調整が成功をおさめ、コンピュータ囲碁ではモンテカルロ木探索と呼ばれる探索手法が大きな成果を挙げるなど、多くの研究がされている。

さまざまな改良が行われた際に、その有効性を調べるため改良前後での性能評価が必要となる。その性能評価は一般に、改良前後のプログラムでの対戦、他のプログラムとの対戦、問題集の解答などによって行われている。しかし、これらの手法には、有意な結果を得るまで長い時間が必要であること、特定の対戦相手や局面に特化しすぎたプログラムになる可能性があること、次の改良に有用な情報が得られないことなどの問題点がある。

そこで本研究では、棋譜データを用いた性能評価手法の提案とその評価を行った。具体的には、評価値と棋譜の勝敗との関連から目視で評価する Evaluation Curve (E.C.) や機械学習の分野で用いられている性能評価手法の応用、ケンドールの順位相関係数による単調性の数値指標、評価値の分布を利用した期待値指標を提案した。棋譜データにはさまざまなプレイヤーが存在し、特定の対戦相手や局面への特化という問題を解消できる。また、棋譜の各局面における評価値の計算を行うが、それは、対戦と比べ非常に短い時間で可能である。将棋やチェス、囲碁において提案手法による性能評価を行い、対戦や経験的知見による評価との一致を確認し、提案手法の有効性を示した。



以下、E.C.について説明する。E.C.は、評価値に対して勝率をプロットしたグラフであり、実際にE.C.を作る際には、局面の勝率が不明であるため、棋譜データを用いて勝率の近似を行う。全局面について勝率が分かっている場合には、評価値と勝率との間に単調性があるかによって性能評価ができる。また、ある特徴についての性能評価を調べるには、その特徴を持った局面だけを集め、評価値と勝率の関係の一貫性を見ることで性能評価ができる。これは次の改良に有用な情報となり、E.C.は従来手法の問題点をすべて解決する。

図は、将棋において2つのプログラムを用いて、先手玉の安全度についてE.C.を描いたものである。上図では条件によってグラフが分かれ一貫性がなく、この特徴について十分な性能を持っていないことが分かる。対戦実験においても下図のプログラムが有意に勝ち越している。

(2011年8月2日受付)

取得年月：2010年3月 学位種別：博士(学術) 大学：東京大学

推薦研究会：ゲーム情報学

推薦文：本学位論文は、ゲーム情報学の主要技術に対して、棋譜を用いた性能評価手法を提案した。その応用先は、評価関数からモンテカルロ木探索まで広く、新規性が高く評価されている。内容は一流の国際学会であるAAAIにも採録され、著者はこの研究で2008年度山下記念研究賞や東京大学の一高記念賞を受賞している。

著者からの一言

先生方をはじめとして周囲の人々に支えられて研究を進めることができました。改めましてみなさまに感謝申し上げます。

今回の博士論文で提案した手法が、より強いゲームプログラムを作成することに寄与できればと考え、今後とも研究に精進していきたいと思っています。