

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26280024

研究課題名(和文) 検証系を備えた高水準モデリング言語処理系の実装技術の深化

研究課題名(英文) Deepening the implementation technology of high-level modeling language implementations integrated with verifiers

研究代表者

上田 和紀 (Ueda, Kazunori)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：10257206

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、実数やグラフ構造など、高い抽象性と汎用性をもつ情報表現を扱う高水準モデリング言語の実装技術の深化に取り組んだ。連続変化と離散変化の両方をもつハイブリッドシステムの高信頼シミュレーションのために、精度保証付き数値計算技術と記号処理との統合手法などを開拓し、制約概念に基づくモデリング言語HydLaの記号シミュレータの求解能力と実行効率を大きく改善した。また、グラフ書換えモデリング言語LMNtalの実行系について、ハイパーグラフ書換えへの発展、並列モデル検査アルゴリズムの改善等を行い、より強力な検証ツールへと発展させた。開発した処理系はオープンソースソフトウェアとして公開した。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research was to deepen the implementation technology of high-level modeling languages that support highly abstract and general data representation such as real numbers and graph structures. To achieve reliable simulation of hybrid systems that make both continuous and discrete changes, we developed various techniques including a method for integrating numerical computation with guaranteed accuracy and symbolic computation, and greatly improved the solution capability and performance of the symbolic simulator of the constraint-based modeling language HydLa. For the runtime system of the graph-rewriting modeling language LMNtal, a number of new techniques were developed, e.g., for expressive hypergraph rewriting and efficient parallel model checking, and the system was evolved into a more powerful verification tool. The developed implementations were made publicly available as open-source software.

研究分野：プログラミング言語

キーワード：高水準モデリング言語 言語処理系 モデル検査 ハイブリッドシステム 並列処理

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は長年、高水準モデリング言語の設計と処理系構築に取り組んできた。制約概念に基づく並行計算と多重集合概念をもつ多数の理論計算モデルとの統合を目指した書換え型言語モデル LMNtal を提案し、10 万行を超す規模の処理系を構築し、さらにそれをモデル検査系へと発展させてきた。また、時間の経過に伴う系の挙動が連続変化と離散変化の両方を示すハイブリッドシステムのための新たなハイブリッド制約言語 HydLa を提案しプロトタイプ処理系を構築してきた。

システム検証技術の一つであるモデル検査は、対話的検証よりも少ない知識と経験で利用できる点、誤りのあるシステムに対して具体的反例が得られる点などから普及が進みつつあるが、既存のモデル検査ツールで使われるモデリング言語の多くは記述力の点で汎用の高水準プログラミング言語に劣っている。高水準言語にふさわしい強力なデータ構造等を備えたモデル検査系の実現には、性能等の観点から解決すべき多くの技術課題が残されている。また、高信頼ソフトウェアの構築と発展には、デバッグの支援だけではなくバグのないシステムの性質や挙動を理解するため支援も不可欠であり、重要な技術課題である。

2. 研究の目的

研究代表者は上述のように、並行性と制約概念をもつ非手続き型言語の研究を多面的に推進し、モデル検査と通常計算とを同じ枠組で提供する高水準言語処理系の開発を行ってきた。本研究ではそれらを基盤に、グラフ構造や数学的実数など、通常のプログラミング言語が提供しない汎用かつ強力なデータ領域をもつ高水準モデリング言語の実装技術を深化させ、検証系を統合した高水準モデリング言語処理系のコア技術として確立させる。

具体的には、(a) グラフ書換え言語 LMNtal を基盤に、複数の側面をもつ複雑な情報構造の表現に適したハイパーグラフ構造の操作および同型性判定技術等を確立するとともに、(b) ハイブリッド制約言語 HydLa を基盤に、制約処理技術の活用によって、格段に強力な求解能力をもつ高信頼シミュレーション・検証技術を確認させる。またこれらを基軸とした実行・検証系を整備公開する。

3. 研究の方法

本研究組織のメンバは、ソフトウェア検証および連続量を扱うソフトウェアの高信頼実行について、モデル検査技術と制約処理技術の二側面から研究を重ねてきた。本研究では、これまでの処理系構築と問題記述経験から得られた機能・性能上のブレークスルー要求を実現するための研究開発項目に取り組むことで、真に高水準なプログラミングとモデリングのための新たな言語機能とその実現技法を

開拓する。開拓した要素技術は、検証機能を統合した高水準言語処理系にコア技術として組み込んで広く公開するとともに、応用事例の蓄積を通じた有効性確認と改良を行う。

研究は、宣言型言語の設計と実装に多くの経験をもつ研究代表者が全体を統括し、『高スキルの学生を軸とした長期にわたる言語処理系の進化的開発』の実績と経験を活かして推進する。研究分担者は高水準ハイブリッド言語の実行・検証方式の高度高性能化に取り組む。連携研究者は制約技術およびモデル検査技術の観点から上記の研究開発と連携する。

4. 研究成果

(1) ハイパーグラフ書換え機能の拡張と応用
モデリング言語 LMNtal は、通常のグラフに加えて、多点間接続を許すハイパーリンクを備えたハイパーグラフの書換えをサポートしており、その実行系 SLIM はハイパーグラフ書換え系の状態空間構築とモデル検査機能を実装している。さらに、異なる用途のハイパーリンクに異なる属性を付与し、属性を指定してグラフ走査することを可能としている。この属性つきハイパーリンクをもつ拡張言語 HyperLMNtal の実用性評価のために、高階単一化機能をもつ高階論理型言語 L_{λ} のエンコーディングと動作確認を行った。

さらに、名前束縛をもつ多くの計算モデルの簡潔なエンコーディングを目指して、既存のハイパーグラフ走査機能 (hlground) の拡張意味論を設計し実装した。既存の LMNtal は、名前束縛をもつ計算モデルの代表である純粋 λ 計算の細粒度のエンコーディングが可能であったが、新たな hlground を用いることで、純粋 λ 計算の操作的意味論をほぼそのまま翻訳した形の抽象度の高いエンコーディングが可能となった。さらにその記述力の確認のために、派生型をもつ多相 λ 計算である System F_{ω} の型検査および簡約関係のエンコーディングを行い、記述性と動作の確認を行った。

(2) グラフ正規化

グラフ書換え系をモデリング形式とするモデル検査は高い表現力と対称性吸収機能を備えているが、検査の過程で生成されるグラフ構造の管理においてグラフ同型性判定を頻繁に行う。グラフ構造の正規化は同型なグラフが同一の表現となるようなグラフの一意表現を求める手法であり、一意表現の比較によって同型性判定を行うことができるようになるため、多数のグラフ間の同型性判定に有効である。したがって、グラフ書換え系における効率的なグラフ正規化は重要な課題といえる。本研究では彩色単純グラフを対象とした McKay のグラフ正規化アルゴリズムにおいて、グラフ書換えに伴って変化しないグラフ構造の情報を再利用する最適化手法を提案した。再利用の実現のために、McKay のアルゴリズムの実行過程で算出される情報がグラフ構造の

どの部分を反映したものかを定式化し、再計算が必要となる情報とそうでないものを区別しながら新たなグラフの正規化を行う手法を構築した。提案手法による最適化の効果を実験的に評価し、多くの場合について、頂点数に対して線形オーダを下回る時間計算量で新たな正規化が行えることを確認した。

(3) 第一級書き換え規則

グラフ書換え言語 LMNtal の処理系 SLIM は状態空間構築およびモデル検査機能を備えている。状態空間構築機能はグラフ同型性判定などの複雑なアルゴリズムを内包しており、その機能を活用すべく、SLIM のモデル検査に対して過去にさまざまなバリエーションや拡張が構築されてきたが、それらはすべて C 言語で記述した SLIM の改造に基づくものであった。これに対して本研究では、高水準モデリング言語すなわち LMNtal 自身によるモデル検査器の記述を可能にして、さまざまなモデル検査器やモデル検査アルゴリズムのプロotypingを容易にすることを目指した。これは Lisp や Prolog で伝統的に行われていたメタプログラミングに着想を得たものである。

拡張可能なモデル検査器の実装のためのフレームワークの設計を以下の手順で行った。まず、モデリング言語の拡張のために第一級の書き換え規則を定義し、次に状態空間を第一級データとして扱うための API を定義した。これらを用いることにより、与えられた書き換え系が生成する状態遷移グラフを第一級データとして扱うことが可能になり、SLIM を改装せずにモデル検査器のさまざまな変種を実装することが可能になった。機能と性能の確認のために、LMNtal の LTL モデル検査器と CTL モデル検査器の LMNtal 自身による記述を行った。さらに、CTL モデル検査器の改造によって、CTL 自身で表現不可能な公平性制約を組み込むことに成功した。実装の改良を重ね、メタプログラミングによるオーバーヘッドを一桁以下に抑えることができた。

(4) 再帰的な文脈パターンマッチング機能の設計と実装

LMNtal プログラムの実行は、パターンマッチングによる書き換え対象の探索と、マッチした部分グラフの書き換え操作の繰返しである。パターンマッチングは多くの言語に取り入れられており、データ構造に対する基本操作の一つであるので、これを記述するための言語機能は有用である。しかし標準的なパターンマッチングは、対象データ構造の根にある特定のコンストラクタからの適当な子孫の取り出し、あるいはその有限回の繰返ししかパターンとして記述できず、「データ構造から条件にマッチする一部分を取り出す」という目的に対して十分な表現力があるとは言えない。

そこで本研究では、文脈の概念をパターンマッチングに応用する Context Patterns, およびパターンの再帰的な組合せで複雑なパタ

ーンを表現する Pattern Functions の 2 つのアイデアに基づき、これらを実用的な効率で両立させるグラフ書換え言語 CSLMNtal を設計した。これによって、コンストラクタの有限回の繰返しのみならず、再帰的なパターンに基づいて特定の条件を満たす要素をデータ構造から探索するような処理も簡潔に記述することができ、かつマッチングの結果得られたデータと、データ構造全体からそのデータを除いた残り部分(文脈)とがともに第一級のオブジェクトとして操作可能であるような、強力なパターンマッチング機能を実現できるようになった。CSLMNtal の実装方式の確立に向けて、その核となるパターンマッチングやグラフの書き換え処理部分の実装と評価を行った。開発した効率化手法は、グラフ書換え言語に限らず、関数型言語などのパターンマッチングにも応用できる可能性がある。

(5) SLIM の状態空間圧縮手法の実装

グラフ書き換え系は情報構造の表現力が高い半面、時間空間の両面で効率のよい状態空間圧縮が難しい。そこで状態空間圧縮手法 Tree Compression のグラフデータ構造への適用を試みた。Tree Compression は各状態ベクトルの共通部分を木構造で管理することで状態空間を圧縮する。これを SLIM に導入する方法を検討し、実装・評価を行った。その結果、メモリ使用量を最高約 11% に圧縮することに成功し、従来実行不能であった 20 億状態規模の例題の状態空間構築が可能となった。空間効率向上に伴って実行時間も短縮された。

(6) アフィン演算を用いたパラメタ付きハイブリッドシステムの記号シミュレーション

ハイブリッド制約言語 HyLa とその処理系 HyLaGI の特徴と目標は、記号パラメタをもつハイブリッドシステムの高信頼シミュレーションを実現し、それによって単独ではなく一群の系の特性の理解やパラメタ設計などを可能にすることである。記号パラメタはモデルの経時変化や計測制御の誤差などに起因するシステムの不確実性の表現にも重要である。これまで、計算誤差を排除したシミュレータの実装には区間演算が用いられていたが、複数の不確実値の間の依存性を管理して区間幅の増大を抑制することが課題であった。

本研究では、このような不確実性を表すパラメタ間の依存性を陽に記号的に管理しながらハイブリッドシステムのシミュレーションを行う方法を開発した。パラメタ付き常微分方程式の求解と、パラメタをもつ系が離散変化する時刻の求解という二つのチャレンジのうち後者に着目して、アフィン演算を援用した記号求解アルゴリズムを開発した。アフィン形式は二つの量の間の一次依存性の表現と保存に適するものの、システムの離散変化時刻はしばしば解析解をもたない非線形代数方程式で表現され、その場合区間演算技法が必要となる。解析解をもつ場合でも記号解が非

常に複雑となることがある。そこで本研究では、パラメタをもつ系に対して、区間ニュートン法と平均値定理を併用して離散変化時刻をコンパクトに包囲する記号解を求める手法を開発した。これによって、アフィン形式の採用だけでは求解できない離散変化も扱えるようになった。提案手法を HyLaGI に実装し、例題モデルを用いて実行時間や区間幅の増大に関する性能評価を行った。

(7) 多数回の離散変化を示すハイブリッドシステムの解析

ハイブリッドシステムの挙動は離散変化と連続変化の両方を示すが、その中には相空間の中の狭い領域で多数回ないし無限回の離散変化を起こすシステムがある。スライディングモードをもつ系がその典型である。通常の数値シミュレーションでこのような系の離散変化を追うことは困難である。本研究では、このような多数回の離散変化をもつ系に対して、記号的な手法によってループを発見してループ不変条件を検査する手法を開発した。本手法は HyLaGI のパラメタ付きシステムのシミュレーション機能を活用して、スライディングモードのダイナミクスを記述するスイッチング関数の値に着目した状態間の包含関係を検出する。提案手法の主要部分を HyLaGI に実装して、いくつかの例題の解析を行った。

(8) 制約間依存関係に基づく HyLaGI 実行アルゴリズムの最適化

HyLaGI は記号実行に基づく無誤差計算やパラメタを含むモデルのシミュレーションを特徴としているが、離散変化フェーズと連続変化フェーズの繰返し実行において直前のフェーズの情報が利用されておらず、不要な再計算を繰り返すという問題があった。そこで、離散変化の原因、フェーズ間の制約の差分、変数の連続性の三種類の情報を活用したインクリメンタルな実行方式を考案し、制約の依存関係グラフを用いた実装を行った。プログラム中の制約数の増大に対するスケーラビリティがおよそ 1 次分向上したことを実験により確認した。

(9) 連続システムとハイブリッドシステムの解析手法

連続システムやハイブリッドシステムの高信頼な解析を可能にすることを目標に、下記の項目を実施した。

第一に、非線形式で記述されるハイブリッドオートマトンと、その軌道に関する性質記述を入力とし、軌道のシミュレーションと性質の成否判定を区間計算により高信頼に実施するための手法を開発した。軌道のシミュレーションは、区間計算を拡張した平行体計算に基づく手法を仏 CNRS の A. Goldsztejn と共同で開発した。独自の例題を用いた実験を実施し、平行体計算によりラッピング効果が削減され、多ステップにわたりシミュレーショ

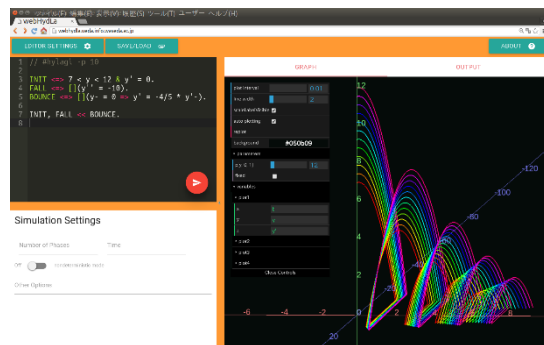


図 1 WebHydLa 画面

ンが可能になることを示した。この手法を利用し、信号時相論理式で記述した性質を検証する手法を開発し、数値誤差の精度保証に基づく検証が実施可能となった。また、確率的な検証問題を十分な回数のシミュレーションで判定する統計的モデル検査を考え、区間解析手法を用いた検査器を開発した。PID 制御器やハイブリッドシステムのベンチマーク等に提案手法を適用する実験を行い、良好な結果を得た。上記のシミュレーション・検証手法に基づくツール HySIA の整備を行い、それを用いて区間計算手法の性能評価や非線形ハイブリッドシステムの例示を行って良好な結果を得た。

第二に、産業界で用いられている MATLAB/Simulink の大規模・複雑なモデルを調査した。これらのモデルに対しては単純な静的解析によるテストや検証は難しく、数値シミュレーションに基づいて解析範囲を狭めた検証手法や、区間で近似して精度や区間分割に限界を設けた静的解析が有用であることを確認した。

第三に、実数変数をもつ制約充足問題および最適化問題のソルバーを X10 言語と GLB (global load balancing) ライブラリを用いて並列分散化した。TSUBAME2 スーパーコンピュータ上でパラメタチューニングと実験を行った結果、900 コアまで線形に近い速度向上 (最大 751 倍) を得た。

(10) 処理系の整備と公開

本研究の核をなす公開中の二つのモデリング言語処理系 SLIM および HyLaGI について、研究期間全体を通じて保守と大小の改良を重ねた。また、以上に述べた実装技術の深化に関する諸成果は、可能な範囲で SLIM と HyLaGI に組み込み、一般ユーザが利用可能な形にした。これまでの LMNtal および HydLa のポータルサイトに加えて、GitHub 上に両言語のサイトを開設し、これまでオープンソースではなかった HyLaGI 等も含めて、両言語の大部分のソースコードを GitHub から公開した。

さらに HyLaGI については、Web から処理系が使える WebHydLa サービスを開始した (図 1)。WebHydLa は HydLa プログラムのシミュレーション結果をテキストと三次元プロットの両形式で表示する機能を持ち、パラメタ付きシステムの特性的理解に特に有用である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

(1) Kazunori Ueda: Logic/Constraint Programming and Concurrency: The Hard-Won Lessons of the Fifth Generation Computer Project. To appear in Science of Computer Programming, 2017 (査読有, 採録決定済)

(2) Kenichi Betsuno, Shota Matsumoto, and Kazunori Ueda: Symbolic Analysis of Hybrid Systems Involving Numerous Discrete Changes Using Loop Detection. Lecutre Notes in Computer Science 10107, Springer, 2017, pp.17-30. (査読有)
DOI: 10.1007/978-3-319-51738-4_2

(3) Shota Matsumoto and Kazunori Ueda: Symbolic Simulation of Parametrized Hybrid Systems with Affine Arithmetic. 23rd International Symposium on Temporal Representation and Reasoning (TIME 2016), 2016, pp.4-11. (査読有)
DOI: 10.1109/TIME.2016.8

(4) A. Goldsztejn, D. Ishii: A Parallelootope Method for Hybrid System Simulation. Reliable Computing, Vol. 23, 2016, pp.163-185, 2016. (査読有)
<http://interval.louisiana.edu/reliable-computing-journal/volume-23/reliable-computing-23-pp-163-185.pdf>

(5) Alimujiang Yasen and Kazunori Ueda: Hypergraph Representation of Lambda-Terms. 10th International Symposium on Theoretical Aspects of Software Engineering, 2016, pp.113-116. (査読有)
DOI: 10.1109/TASE.2016.25

(6) 宮原和太, 上田和紀: グラフ書換え系のための効率的なグラフ正規化手法. コンピュータソフトウェア, Vol. 33, No. 1, 2016, pp.126-149. (査読有)
DOI: 10.11309/jssst.33.1_126

(7) D. Ishii, N. Yonezaki, A. Goldsztejn: Monitoring Temporal Properties using Interval Analysis. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E99-A, No. 2, 2016, pp.442-453. (査読有) DOI: 10.1587/transfun.E99.A.4

(8) Shota Matsumoto, Fumihiko Kono, Teruya Kobayashi and Kazunori Ueda: HyLaGI: Symbolic Implementation of a Hybrid Constraint Language. Electronic Notes in Theoretical Computer Science,

Vol. 317, 2015, pp.109-115. (査読有)
DOI: 10.1016/j.entcs.2015.10.011

(9) D. Ishii, N. Yonezaki, A. Goldsztejn: Monitoring Bounded LTL Properties Using Interval Analysis. Electronic Notes in Theoretical Computer Science Vol. 317, 2015, pp.85-100. (査読有)
DOI: 10.1016/j.entcs.2015.10.009

(10) S. Caro, D. Chablat, A. Goldsztejn, D. Ishii, C. Jermann: A Branch and Prune Algorithm for the Computation of Generalized Aspects of Parallel Robots. Artificial Intelligence, Vol. 211, pp.34-50, 2014. (査読有)
DOI: 10.1016/j.artint.2014.02.001

(11) 石井大輔, 上田和紀: 非線形ハイブリッドシステムの可到達集合の精度保証. 計測と制御, Vol. 53, No. 12, 2014, pp.1086-1092. (査読有)
DOI: 10.11499/sicejl.53.1086

(12) D. Ishii, K. Yoshizoe, T. Suzumura: Scalable Parallel Numerical CSP Solver. Lecture Notes in Computer Science 8656, 2014, pp.398-406. (査読有)
DOI: 10.1007/978-3-319-10428-7_30

[学会発表] (計 43 件)

(1) Taichi Tomioka and Kazunori Ueda: Generating Memory-safe C Programs from Hierarchical Graph Rewriting Language LMNtal. 14th Asian Symposium on Programming Languages and Systems, 2016 年 11 月 22 日, Hanoi (Vietnam).

(2) Yutaro Tsunekawa, Taichi Tomioka and Kazunori Ueda: Implementation of LMNtal Model Checkers: a Metaprogramming Approach. First Workshop on Meta-Programming Techniques and Reflection (META'16), 2016 年 10 月 30 日, Amsterdam (The Netherlands).

(3) 松本翔太, 上田和紀: パラメタを含むハイブリッドシステムに対するアフィン演算を用いた記号シミュレーション. 日本ソフトウェア学会第 33 回大会, 2016 年 9 月 8 日, 東北大学電気通信研究所 (宮城・仙台市)

(4) 恒川雄太郎, 富岡太一, 上田和紀: グラフ書換えに基づくモデル記述言語 LMNtal による LMNtal モデル検査器の実装. 日本ソフトウェア学会第 33 回大会, 2016 年 9 月 7 日, 東北大学電気通信研究所 (宮城・仙台市)

(5) 小山峻平, 松本翔太, 上田和紀: ハイブリッドシステムモデリング言語 HydLa におけるモデリングエラーの体系化. 人工知能学会全国大会, 2016 年 6 月 6 日, 北九州国際会議場 (福岡・北九州市)

(6) 別納健市, 松本翔太, 若槻祐彰, 上田和紀: 多数の離散変化をともなうハイブリッドシステムに対するループ検出を用いた解析. 人工知能学会全国大会, 2016年6月6日, 北九州国際会議場 (福岡・北九州市)

(7) 若槻祐彰, 松本翔太, 上田和紀: ハイブリッド制約処理系 HyLaGI における LTL モデル検査. 人工知能学会全国大会, 2016年6月6日, 北九州国際会議場 (福岡・北九州市)

(8) 石井大輔, 富田亮, 米崎直樹: ハイブリッドシステムの統計的モデル検査. 電子情報通信学会総合大会. 2016年03月16日, 九州大学 (福岡・福岡市) (招待講演)

(9) Kazunori Ueda: Logic/Constraint Programming and Concurrency: The Hard-Won Lessons of the Fifth Generation Computer Project. 13th International Symposium on Functional and Logic Programming, 2016年3月4日, 高知工科大学 (高知・高知市) (招待講演)

(10) 松本翔太, 上田和紀: ハイブリッドシステムのシミュレーションにおける精度保証数値計算と数式処理との連携. 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会. 2016年1月25日, しいのき迎賓館 (石川・金沢市)

(11) 石井大輔: 区間解析による時相論理式の頑健性モニタリング. 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会, 2016年1月25日, しいのき迎賓館 (石川・金沢市) (招待講演)

(12) Kazunori Ueda and Yusuke Yoshimoto: Typing Graphs and Graph Rewriting. APLAS 2015 Workshop on New Ideas and Emerging Results of Programming Languages and Systems, 2015年11月29日, Pohang (Korea)

(13) 若槻祐彰, 松本翔太, 伊藤剛史, 和田努, 上田和紀: ハイブリッド制約処理系 HyLaGI による微小誤差を用いたモデル解析. 日本ソフトウェア科学会第32回大会. 2015年9月11日, 早稲田大学 (東京・新宿区)

(14) 吉元佑介, 上田和紀: グラフ書換え系における静的グラフ型検査. 日本ソフトウェア科学会第32回大会, 2015年9月9日, 早稲田大学 (東京・新宿区)

(15) D. Ishii, K. Yoshizoe, T. Suzumura: Scalable Parallel Numerical Constraint Solver Using Global Load Balancing, ACM SIGPLAN Workshop on X10, 2015年6月14日, Portland, Oregon(USA)

(16) 和田努, 松本翔太, 上田和紀: ハイブリッド制約言語 HydLa 処理系における数式処理と区間計算を組み合わせたシミュレーション実行. 人工知能学会全国大会. 2015年5月30日, はこだて未来大学 (北海道・函館市)

(17) 河野文彦, 小林輝哉, 松本翔太, 上田和紀: 数式処理に基づくハイブリッドシステムシミュレータ Hyrose の大規模モデルシミュレーションに向けた拡張. 2014年9月10日, 名古屋大学 (愛知・名古屋市)

(18) 吉田健人, 小沼賢, 上田和紀: Hash Compaction を利用したグラフ書換え系モデル検査の大規模化とその評価. 電子情報通信学会ディペンダブルコンピューティング研究会, 2015年7月29日, 朱鷺メッセ (新潟・新潟市)

(19) 小林輝哉, 河野文彦, 松本翔太, 上田和紀: フェーズ間の制約差分情報および制約-変数間の依存関係を用いた HydLa 処理系の最適化. 2014年5月15日, 愛媛県県民文化会館 (愛媛, 松山市)

[その他]

ホームページ等

(1) <http://www.ueda.info.waseda.ac.jp/lmntal/> (LMNtal 処理系ポータルサイト)

(2) <https://github.com/lmntal> (LMNtal GitHub レポジトリ)

(3) <http://www.ueda.info.waseda.ac.jp/hydla/> (HydLa 処理系ポータルサイト)

(4) <https://github.com/HydLa/HyLaGI> (HyLaGI GitHub レポジトリ)

(5) <http://webhydla.ueda.info.waseda.ac.jp/> (WebHydLa 公開ページ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田 和紀 (UEDA, Kazunori)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 10257206

(2) 研究分担者

石井 大輔 (ISHII, Daisuke)
福井大学・工学研究科・講師
研究者番号: 00454025

(3) 連携研究者

田辺 良則 (TANABE, Yoshinori)
鶴見大学・文学部・教授
研究者番号: 60443199

細部 博史 (HOSOBÉ, Hiroshi)
法政大学・情報科学部・教授
研究者番号: 60321577

(4) 研究協力者

松本 翔太 (MATSUMOTO, Shota)