

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2012

課題番号：22650028

研究課題名（和文） 超高性能自動推論システムのための高抽象度機能論理素子に関する研究

研究課題名（英文） Study of High Level Functional Logic Elements for High Performance Automated Reasoning Systems

研究代表者

藤田 博 (FUJITA HIROSHI)

九州大学・システム情報科学研究所・情報学部門

研究者番号：70284552

研究成果の概要（和文）：

高性能な自動推論システムを開発するにあたり、従来の計算システムの問題点を明らかにし、高度な論理機能を直接的に効率よく実行する素子の可能性について検討し、いくつかの有用な知見を得た。事例研究からはいくつかの顕著な成果を得た。

研究成果の概要（英文）：

We studied the problems about difficulties of current computing systems in developing high performance automated reasoning systems, considered the possibility of logic elements that realize higher level functions directly and efficiently, and obtained some useful findings. We also obtained several remarkable results of case studies.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	0	1,000,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	570,000	3,470,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：探索・論理・推論アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

自動推論の基本方式やソフトウェア実装技術が着実に進展する一方、ハードウェア性能の限界が顕著になりつつあり、より実際的で大規模な問題を解くためには、論理素子レベルからの革新によるブレークスルーが強く望まれるようになってきていた。

2. 研究の目的

推論・探索の各局面において本質的に必要な機能とは何かを明らかにした上、それらが高い抽象度のまま直接的に実行することにより、速度と規模の両面で格段の性能向上を果たせるような機能素子の可能性を探究することが目的である。

3. 研究の方法

事例研究として具体的な問題を解くことを通じて、推論・探索に関わる諸機能とその実現にあたって障害となる従来技術の問題点を洗い出し、それらを解決するような高機能論理素子の可能性について検討した。具体的には以下の諸問題に取り組んだ。

- (1) Ramsey 数に関する問題の SAT 解法
- (2) MaxSAT 問題の高速解法とジョブショップ問題等への応用
- (3) 粒子群最適化、遺伝的手法、焼鈍し法等を組合わせたハイブリッド最適化手法の開発と応用
- (4) 帰納推論に基づくデータ解析、および、

実験計画支援に関する手法の開発と高分子合成への応用。

(5) 極小モデル生成器 Mini-MG の開発

4. 研究成果

(1) Ramsey 数に関する問題に対して新たな SAT 解法を開発し、顕著な結果として $R(4, 8) \geq 58$ を得た。適切な対称性制約による探索の絞り込みと、その段階的緩和が鍵となることを示した。これをさらに効果的に実現する高機能素子について、結晶における欠陥形成の機構の利用等が可能と考えられる。

(2) MaxSAT 問題を高速に解く QMaxSat を開発し、国際的競技会において優勝するなど顕著な成果を得た。基数制約を用いてインクリメンタルな SAT 問題解決に帰着する手法が有効であることを示した。これをさらに効果的に実現する高機能素子について、1 進数表現に基づく基数制約を直接的に表現する磁気泡素子等が可能と考えられる。

(3) 粒子群最適化を中核として、遺伝的手法、焼き鈍し法等の各種手法を組み合わせるハイブリッド探索の有効性を示した。フローショップ問題で最適解を得ることに成功し、国際会議において成果が認められ論文賞を獲得した。この手法のための高機能素子については、粒子群、焼き鈍し、遺伝子の物理・化学・生物学的機構を直接的に利用することが考えられる。

(4) 化学実験の効率的計画を支援するシステムを開発し、実際にある高分子合成の実験計画事例においてその有効性を示した。少数事例の差分的組み合わせにより、妥当な帰納推論を可能とする規模の正例負例を自動生成する手法が鍵となった。これをさらに効果的に実現する高機能素子について、遺伝子関連技術の応用が有望と考えられる。

(5) 極小モデル生成器 Mini-MG を開発し、SAT ソルバとしても最高水準の性能を達成した。限定的な一階述語論理 (EPR 論理) の推論系として、命題論理よりコンパクトな論理式表現に基づくという特徴を活かせる。高機能論理素子としては、DNA/RNA におけるパターン転写機能を利用することなどが考えられる。

(6) 上記いずれの推論・探索機構においても、スケーラビリティに関してさらなるブレークスルーが必要である。これを実現する高機能論理素子のための有望な要素技術として、単電子素子、ホログラム、ソフトマター高分子等を検討した。これらによれば、 10^3 以上のスケーラビリティ達成の可能性はある。

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 16 件)

1) H. Fujita, M. Koshimura, R. Hasegawa, SCSat: A Soft Constraint Guided SAT Solver (Tool Paper), Proc. of the SAT2013, 査読有, 掲載決定, 2013.

2) H. Fujita, A New Lower Bound for the Ramsey Number $R(4, 8)$, arXiv:1212.1328, 査読無, 2012.

3) X. Liao, M. Koshimura, H. Fujita, R. Hasegawa, Solving the Coalition Structure Generation Problem with MaxSAT, Proc. of 24th Int'l Conf. on Tools with Artificial Intelligence, 査読有, pp. 910-915, 2012.

4) 鍋島 英知, 越村 三幸, 番原 睦則, SAT/Max-SAT 競技会参加記, コンピュータソフトウェア, 査読有, Vol. 29, No. 4, pp. 9-14, 2012.

5) X. F. Zhang, M. Koshimura, H. Fujita, R. Hasegawa, Hybrid Particle Swarm Optimization and Convergence Analysis for Scheduling Problems, Evolutionary Computation and Multi-Agent Systems and Simulation Workshop, 査読有, pp. 307-314, 2012.

6) N. Chikara, M. Koshimura, H. Fujita, R. Hasegawa, Rule Extraction from Micro-Blog using Inductive Logic Programming, Proc. of 2012 Spring World Congress on Engineering and Technology, 査読有, Vol. 2, pp. 257-260, 2012.

7) M. Koshimura, T. Zhang, H. Fujita, R. Hasegawa, QMaxSAT: A Partial Max-SAT Solver, Journal on Satisfiability, Boolean Modeling and Computation, 査読有, Vol. 8, pp. 95-100, 2012.

8) X. F. Zhang, X. An, M. Koshimura, H. Fujita, R. Hasegawa, Hybrid Particle Swarm Optimization with Parameter Selection Approaches to Solve Flow Shop Scheduling Problem, Proc. of 10th IEEE Int'l Conf. on Cybernetic Intelligent Systems, 査読有, pp. 13-19, 2011.

9) X. F. Zhang, M. Koshimura, H. Fujita, R. Hasegawa, Combining PSO and Local Search to Solve Scheduling Problems, Proc. of 10th Annual Conf. Companion on Genetic and Evolutionary Computation, 査読有, pp. 347-357, 2011.

10) X. An, M. Koshimura, H. Fujita, R. Hasegawa, QMaxSAT version 0.3 & 0.4, TABLEAUX 2011 Workshops, Tutorials, and Short Papers, 査読有, pp. 7-15, 2011.

11) X. F. Zhang, M. Koshimura, H. Fujita, R. Hasegawa, An Efficient Hybrid Particle Swarm Optimization for the Job Shop Scheduling Problem, Proc. of 2011 IEEE Int'l Conf. on Fuzzy Systems, 査読有, pp. 622-626, 2011.

12) X. F. Zhang, B. Tong, M. Koshimura, H.

Fujita, R. Hasegawa, A Multi-Layer Hybrid Particle Swarm Optimization Model for Flow Shop Scheduling Problem, ICONIP 2010 Better Paper Award 受賞, Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems, 査読有, Vol.12, No.4, pp.1-6, 2010.

13) 矢野 明浩, 中村 徹, 長谷川 隆三, 藤田 博, 越村 三幸, 極小モデル生成器 MiniMG の試作, 九州大学大学院システム情報科学紀要, 査読有, 第 15 巻, 第 2 号, pp.91-98, 2010.

14) X.F. Zhang, B. Tong, M. Koshimura, H. Fujita, R.Hasegawa, A Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm HPTS for the Flow-Shop Scheduling Problem, 九州大学大学院システム情報科学紀要, 査読有, 第 15 巻, 第 2 号, pp.65-69, 2010.

15) N. Chikara, M. Koshimura, H. Fujita, R.Hasegawa, Rule Extraction from Blog Using Inductive Logic Programming, Int'l Workshop on Web Personalization and Recommender Systems, 査読有, pp.269-272, 2010.

16) M. Koshimura, H. Nabeshima, H. Fujita, R.Hasegawa, Solving Open Job-Shop Scheduling Problems by SAT Encoding, IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems (Letter), 査読有, Vol.E93-D, No.8, pp.2316-2318, 2010.

[学会発表] (計 24 件)

1) 藤田 博, SCSat を用いたラムゼー数の下界更新について, 第 2 回 CSPSAT2 研究会, 2013 年 3 月 14 日, 唐津市民交流プラザ.

2) 小川 徹, 長谷川 隆三, 部分 MaxSAT ソルバーにおける Modulo 式に基づく CNF-Encoding 方式の提案と評価, 第 2 回 CSPSAT2 研究会, 2013 年 3 月 14 日, 唐津市民交流プラザ.

3) 越村 三幸, QMaxSAT=SAT ソルバー + 基数制約の符号化, 第 2 回 CSPSAT2 研究会, 2013 年 3 月 14 日, 唐津市民交流プラザ.

4) 佐々木 佑介, 長谷川 隆三, モデル生成型 SAT ソルバーの学習節による分岐効果について, 人工知能基本問題研究会 (第 87 回), 2012 年 11 月 17 日, 慶応義塾大学.

5) 越村 三幸, 廖 曉鵬, 藤田 博, 長谷川 隆三, MaxSAT の一拡張について, 第 11 回情報科学技術フォーラム, 2012 年 9 月 5 日, 法政大学.

6) 力 規晃, 越村 三幸, 橋本 司, 西田 光生, 阿部 幸浩, 藤田 博, 長谷川 隆三, 帰納論理プログラミングを用いた高分子の組成と物性との関係に関する考察, 第 11 回情報科学技術フォーラム, 2012 年 9 月 4 日, 法政大学.

7) 奥川 巧, 安本 猛, 越村 三幸, 藤田 博, 長谷川 隆三, SAT ソルバの学習節に対する新しい評価手法の提案, 2012 年度人工知能学会全国大会 (第 26 回), 2012 年 6 月 12 日, 山口県教育会館.

8) 越村 三幸, 提携構造形成問題の MaxSAT 符号化, 第 12 回 CSPSAT 研究会, 2012 年 3 月 20 日, 湯布院公民館.

9) 長谷川 隆三, Anatomy of Cardinality Constraints, 第 12 回 CSPSAT 研究会, 2012 年 3 月 19 日, 湯布院公民館.

10) M. Koshimura, A Simple Implementation of a Partial MaxSAT Solver with MiniSat, Third CSPSAT & ASP Seminar, 2011 年 11 月 21 日, 神戸大学.

11) 越村 三幸, 安 宣口, 藤田 博, 長谷川 隆三, QMaxSAT: 部分 MaxSAT ソルバーの簡便な一実装, 日本ソフトウェア科学会第 28 回大会, 2011 年 9 月, 沖縄産業支援センター.

12) 明石 裕子, 越村 三幸, 藤田 博, 長谷川 隆三, UNIX の FORK 機能に基づく SAT ソルバーの並列化, 日本ソフトウェア科学会第 28 回大会, 2011 年 9 月, 沖縄産業支援センター.

13) 力 規晃, 越村 三幸, 橋本 司, 山下 全広, 藤田 博, 長谷川 隆三, 帰納論理プログラミングを用いた化学反応からのルール抽出, 第 10 回情報科学技術フォーラム, 2011 年 9 月 7 日, 函館大学.

14) 越村 三幸, QMaxSAT version0.11 & 0.4, 第 10 回 CSPSAT 研究会, 2011 年 8 月 19 日, 九州大学.

15) 力 規晃, 越村 三幸, 藤田 博, 長谷川 隆三, 帰納論理プログラミングを用いた棋譜からのルール抽出, 情報処理学会研究会報告 (ゲーム情報学 GI), 2011 年 7 月 1 日, 松江オープンソースラボ.

16) 越村 三幸, 安 宣口, 藤田 博, 長谷川 隆三, QMaxSAT: Q-dai MaxSAT ソルバー, 2011 年度人工知能学会全国大会 (第 25 回), 2011 年 6 月 3 日, アイーナいわて県民情報交流センター.

17) 越村 三幸, 張 形, 藤田 博, 長谷川 隆三, Partial Max-SAT ソルバー QMaxSAT の評価人工知能基本問題研究会 (第 81 回), 2011 年 1 月 31 日, 山梨大学.

18) 越村 三幸, 鍋島 英知, JSSP による GlueMiniSat2.2.0 の評価, 第 8 回 CSPSAT 研究会, 2011 年 12 月 22 日, 九州大学.

19) 張 形, 越村 三幸, 藤田 博, 長谷川 隆三, 基数制約を用いた Max-SAT ソルバーの試作, 第 9 回情報科学技術フォーラム, 2010 年 9 月 8 日, 九州大学.

20) 力 規晃, 越村 三幸, 藤田 博, 長谷川 隆三, BOINC による SAT ソルバーの並列実行, 第 9 回情報科学技術フォーラム, 2010 年 9 月 8 日, 九州大学.

21) 力 規晃, 越村 三幸, 藤田 博, 長谷川 隆

三, 帰納学習を用いたブログからのルール抽出, 平成 22 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2010 年 9 月 3 日, 熊本大学.

22) 中村 徹, 長谷川 隆三, 極小モデル生成器 MiniMG の性能評価, 第 7 回 CSPSAT 研究会, 2010 年 7 月 27 日, 横谷温泉旅館会議室.

23) 越村 三幸, QMaxSAT: Q-dai Max SAT Solver, 第 7 回 CSPSAT 研究会, 2010 年 7 月 27 日, 横谷温泉旅館会議室.

24) 中村 徹, 矢野 明浩, 長谷川 隆三, 藤田 博, 越村 三幸, モデル生成型 SAT ソルバー MiniMG の性能評価, 人工知能基本問題研究会 (第 78 回), 2010 年 7 月 31 日, 兵庫県立大学.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://opal.inf.kyushu-u.ac.jp/~fujita/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤田 博 (FUJITA HIROSHI)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・准教授

研究者番号: 70284552

(2) 研究分担者

長谷川 隆三 (HASEGAWA RYUZO)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授

研究者番号: 20274483

越村 三幸 (KOSHIMURA MIYUKI)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・助教

研究者番号: 30274492