

Java による分散協調制約解消システム

－ 制約プログラミングを用いた賢いソフトウェアに向けて －

1 背景

制約解消システムとは、簡単に言うと「ユーザは解決したい問題を制約の形（連立不等式など変数の間の関係を表す算術式や論理式）で記述するだけで、あとは制約ソルバがその制約を満たす解を求めてくれる」という便利なもので、生産スケジューリング、資源割り当てなどの問題解決に利用されている。

近年、問題の多様化・複雑化に伴って協調制約解消の研究が進み、「複数の制約ソルバをいかに有効に組み合わせるか」が重要な研究課題になっている。分散コンピューティング環境などの情報基盤の進歩を考慮すれば、近い将来その環境下での協調制約解消アルゴリズムの重要性が高まると予想される。

2 目的

このプロジェクトの目的は、分散コンピューティング環境において、複数の制約ソルバを協調的・競争的に並行動作させることにより、単一のアルゴリズムをチューニングする以上の効果を得ることである。昨年度の未踏ソフトウェア創造事業（未踏 14）では、基本的なアルゴリズムおよびフレームワークを設計し、HECS システム^{*1}を開発した。

未踏 15 の具体的な目標は、以下の 3 点を実現することにより HECS システムを完成し、その有用性を示すことである。

1) 協調制約解消アルゴリズムの開発

「解の交換、CPU 資源の割り当て、ソルバの選択/切替え」機能をもつ賢いリアルタイム・スケジューラを開発する。

2) 大規模な計算機環境での種々の問題に対する適用実験

Beowulf PC クラスタなどを利用し、システムの適用実験を行う。

3) 普及のためのユーザインタフェースの開発

より多く人に使ってもらえるように、OpenOffice Calc の add-in として利用可能にする。

3 開発の内容

HECS システムは、以下のサブシステムから構成されている。

- GBMS: 複数ソルバ選択のためのスケジューリング・システム (担当: 玉置)
- Prolog Cafe: Prolog から Java へのトランスレータ処理系 (担当: 番原)
- Cream: Java 上の制約プログラミング用クラスライブラリ (担当: 田村)
- multisat: SAT ソルバの並列/分散実行処理システム (担当: 井上)
- Maglog: モバイルエージェントシステム記述言語処理系 (担当: 川村)

^{*1} <http://kaminari.istc.kobe-u.ac.jp/hecs/>

HECS システムはサブシステムを含めすべて Java で実装されているため、Java™2 SDK, Standard Edition が動作する環境であれば、基本的にはどこでも利用可能である。ただし、一部の開発用コマンドツールが Perl および Born Shell で記述されているため、それら及び Windows 上では Cygwin がインストールされている環境が望ましい。また、Prolog Cafe の Mathematica インターフェイスを利用するためには、ウルフラムリサーチ社の数学統合環境ソフトウェア Mathematica、および Mathematica の Java インターフェイスである J/Link が必要である (Mathematica インターフェイスを利用しない場合は、必要ない)。

昨年度の未踏ソフトウェア創造事業 (未踏 14) では、HECS システムの基本的なアルゴリズムおよびフレームワークを設計・実装を行った。未踏 14 では以下のような目標*2を達成した。

- 1) 複数の制約ソルバの並行実行機能
- 2) 複数の制約ソルバの分散実行機能
- 3) 複数の制約ソルバ間での解情報の交換機能
- 4) 実行時間制約下での解探索機能
- 5) 整数有限領域上で、最適解の探索および準最適解の確率的探索を行うソルバ
- 6) ブール制約問題に対する、SAT ソルバおよび確率的 SAT ソルバ
- 7) 実数領域上での線形な制約条件に対して、最適解の探索を行うソルバ

未踏 15 での目標は以下の通りである。

- 8) 「解の交換、CPU 資源の割り当て、ソルバの選択/切替え」機能をもつスケジューラ
- 9) 大規模な計算機環境での種々の問題に対する適用実験
- 10) 普及のためのユーザインタフェース
- 11) 整数有限領域上での制約解消アルゴリズムの高速化
- 12) 資源割当問題等、スケジューリング問題以外に対する準最適解探索機能
- 13) ブール制約問題に対する、複数 SAT ソルバの分散協調実行機能
- 14) 複数の制約ソルバの分散実行機能、特に制約ソルバがデータ交換を行うための共有スペース

上記の目標のそれぞれに対して、達成した外部仕様との対比は以下の通りである。

- 8) 「解の交換、CPU 資源の割り当て、ソルバの選択/切替え」機能をもつスケジューラ
GBMS の開発により枠組は完成した。しかし、HECS システムへの移植について、解の交換以外は検討に留まり、達成できなかった。
- 9) 大規模な計算機環境での種々の問題に対する適用実験
Beowulf PC クラスタを用いた、GBMS サブシステムの適用実験は達成できた。
- 10) 普及のためのユーザインタフェース
OpenOffice Calc を Cream のフロントエンドとして利用可能にするインタフェース Calc/Cream を開発することにより達成できた。図 1 に Calc/Cream を利用して N クイーン問題を記述したスプレッドシートのスナップショットを示す。

*2 ただし (2) については、Maglog を開発することにより枠組は完成したが、具体的な問題について分散実行を実現することはできなかった。また (3)(4) については、Cream (整数有限領域上のソルバ) に対してのみ達成できた。

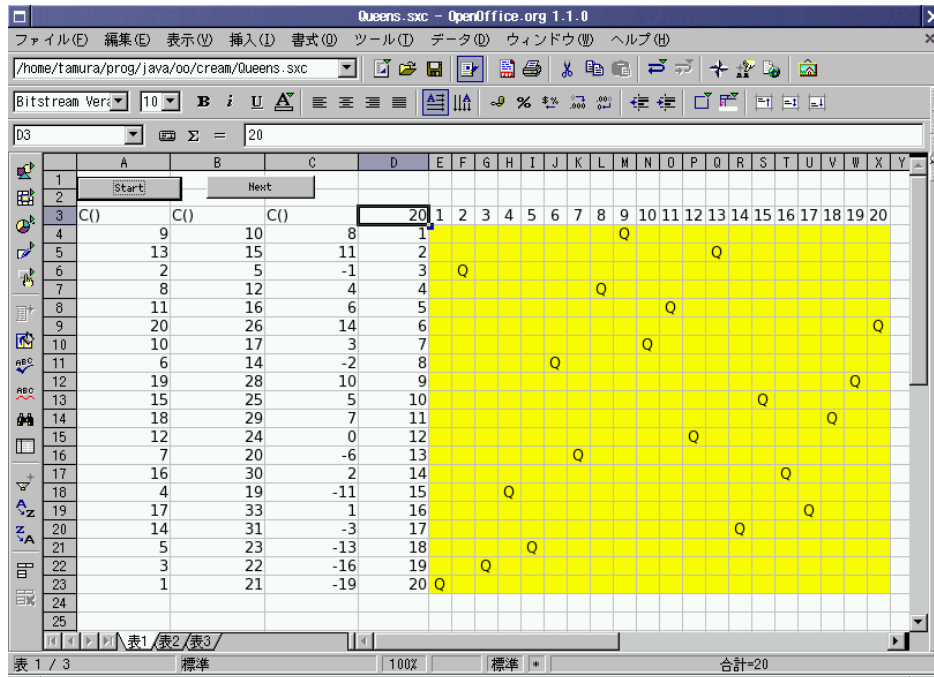


図 1: Calc/cream のスナップショット

11) 整数有限領域上での制約解消アルゴリズムの高速化

Cream の高速化により達成できた。

12) 資源割当問題等，スケジューリング問題以外に対する準最適解探索機能

Cream の拡張により達成できた。

13) ブール制約問題に対する，複数 SAT ソルバの分散協調実行機能

Zchaff ソルバが実行時に生成する補題を，他ソルバーが利用することにより，協調実行機能は達成できた。また JSSP 判定問題 SAT 問題トランスレータを開発し，multisat で求解できるようにした。

14) 複数の制約ソルバの分散実行機能，特に制約ソルバがデータ交換を行うための共有スペース

Maglog の開発のより達成できた。

4 従来の技術 (または機能) との相違

制約ソルバをエージェントと見れば，提案するシステムはマルチエージェント・システム的一种と見なせる。近年，マルチエージェントに関する研究が急速に進んでおり，数多くのシステムが開発されている。しかし，エージェントの捉え方，対象とする問題領域の違いから，それらのシステムを単純比較することは難しい。しかし，HECS システムでは，整数制約ソルバ，ブール値ソルバ，Mathematica，確率的ソルバなど異種の制約ソルバが利用できる点が，他のシステムとの差別化要因であると言える。

5 期待される効果

期待される効果としては，以下のものが考えられる。

- Java での制約プログラミング

本システムはサブシステムを含めすべて 100% Pure Java で実装するため, Java から統一的にさまざまな制約ソルバ (制約解消アルゴリズム) を利用できるというメリットがある.

- 表計算で制約プログラミング

Calc/Cream を使えば, OpenOffice Calc (表計算ソフト) 上で, 制約記述, 制約解消が可能となる. この機能を使うにあたって, ユーザには制約プログラミングに関する難しい知識は必要ない. OpenOffice のユーザ数を考慮すれば, 制約プログラミング技術の波及, 活性化につながると考えられる.

6 普及 (または活用) の見通し

当面は OpenOffice のユーザを中心に, 開発したソフトの普及活動を行う予定である. OpenOffice はオープンソースの無料オフィスソフトであり, 現在急速に普及している. 開発した Calc/Cream を使えば, OpenOffice Calc (表計算) のセルに制約を記述し, ボタンを押すだけで解を求めることができる. これには難しい制約プログラミングの知識はほとんど必要なく, 誰でも制約解消機能を利用することができる.

7 開発者名およびプロジェクト実施管理組織

番原 睦則	神戸大学	学術情報基盤センター	banbara@kobe-u.ac.jp
田村 直之	神戸大学	学術情報基盤センター	tamura@kobe-u.ac.jp
井上 克己	国立情報学研究所	情報学基礎研究系	ki@nii.ac.jp
川村 尚生	鳥取大学	知能情報工学科	kawamura@ike.tottori-u.ac.jp
玉置 久	神戸大学	情報知能工学科	tamaki@al.cs.kobe-u.ac.jp
日本エンジェルス・インベストメント株式会社			プロジェクト実施管理組織

8 入手方法

HECS の Web ページ <http://kaminari.istc.kobe-u.ac.jp/hecs/> からソフトウェアおよびマニュアルのダウンロードが可能である. ただし, 各サブシステムのソースコードは含まれていないので, 上記 Web ページからリンクしている各々のサブシステムの Web ページからダウンロードする必要がある.

HECS はフリーソフトウェアである. multisat サブシステム中の walksat と zchaff プログラム以外は, Free Software Foundation によって公開されている GNU General Public License の第二版以降に従う限り, 誰でも自由に複製, 改変, 再配布することができる.

9 謝辞

本開発のプロジェクトマネージャーである紀 信邦氏に心から感謝致します. また事務的処理をサポートしていただいた, 日本エンジェルス・インベストメントのスタッフの皆様へ感謝致します. 最後に, プログラム作成に協力していただいた学生アルバイトの榊原 一紀氏, 廣田 義人氏, 上田 盛慈氏, 宋 秀剛氏, 大西 秀志氏, 岡本 英彰氏, 松田 一人氏に感謝致します.