

局所探索が使える制約プログラミングシステムの開発 —問題記述のみで局所探索を可能にする—

1. 背景

困難な組合せ最適化問題を効率良く解くことの重要性がますます高まっている。伝統的なアプローチとして、山登り法や遺伝的アルゴリズムをはじめとする局所探索がある。局所探索は非常に探索効率が良く、現在でも組合せ最適化問題に対する最も効果的な手法のひとつである。しかし、局所探索のプログラムを作るには対象とする問題についての詳しい知識が必要で、コーディングも難しい。

一方、新しいアプローチとして制約プログラミングが注目を集めている。制約プログラミングでは、プログラマは問題の制約条件と目的関数を記述して制約システムに渡すだけで良い。解の探索は制約システムが自動で行う。このように汎用性・簡便性・柔軟性が制約プログラミングの大きな利点であるが、反面、探索アルゴリズムがバックトラックと分枝限定法による大域探索のみであり、探索効率が悪い。

2. 目的

本プロジェクトの目的は「局所探索が使える制約プログラミングシステムを作ること」すなわち、問題の制約条件と目的関数を記述するだけで局所探索が動き出し効率良く解が求まるようにすること、である。

3. 開発の内容

問題記述だけで局所探索が使える制約プログラミングシステム「veecon」を開発した。veeconは大きく分けると(1)従来型の大域探索ソルバを持つ制約プログラミングシステムと、(2)その大域探索ソルバを利用して自動的に局所探索を実行するシステム、のふたつからなる。どちらもJavaクラスライブラリであり、Javaの動く任意の環境で利用できる。

問題記述だけを用いて局所探索を利用可能にする手法を説明する(図1)。局所探索では、現在の解からそれを少しだけ変更した新しい解を複数作る必要がある。開発手法は、そのために問題の制約条件と既存の大域探索ソルバを利用する。通常、組合せ最適化問題の制約条件はたくさんのサブ制約からなり、それらのサブ制約は内部に論理的 OR を含むことが多い。今、解をひとつ持っているとして、ある OR 制約($P \text{ or } Q$)に着目する。現在の解が制約Pを満たしているとする、このPをもう一方のQに切り替えて、Qの方を満たす解を大域探索ソルバに探索させることで、新しい解をつくりだすことができる。

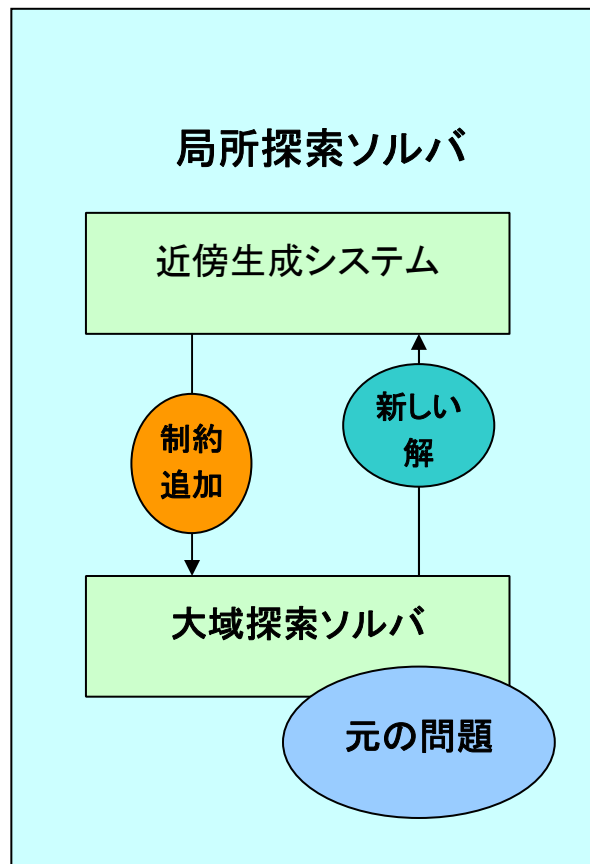


図1 開発した局所探索ソルバの構成

4. 従来の技術(または機能)との相違

まず、veeconを大きくふたつに分けたうちの、従来型の制約プログラミングシステムの部分について述べる。特徴のひとつめは任意の制約についてAND/OR/NOT等のメタ制約を記述できる点である。一般の制約プログラミングシステムでは線形(不)等式などについてのみこれらのメタ制約が記述可能である場合が多い。ふたつめの特徴は拡張性である。veeconには既存の制約だけでなく、新しいタイプの制約を容易に追加できる。また既存の制約に対する新しい解法アルゴリズムを実装することも容易である。一般の制約プログラミングシステムでは、システムに元から組み込まれている解法しか使えない場合も多い。みつつめの特徴は実行速度である。商用制約プログラミングシステムのうち最も高速なものとしてILOG社のILOG Solverがある。このILOG Solverとveeconを基本的なベンチマーク(NQueens問題とGolomb Ruler問題)で比較したところ、ILOG Solverの実行時間に対してveeconの実行時間は多くの場合 1.1 倍から 1.2 倍とほぼ等速、最悪の場合でも 2 倍程度であった。このように、veeconは商用システムと比較しうる実行速度をもっている。

次に、veeconの局所探索ソルバについて述べる。問題記述に論理的ORが含まれていれば、原理的にはどのような問題でも記述を与えるだけで局所探索が実行できる。このような機能は他の制約プログラミングシステムには無い。またその局所探索ソルバはもちろん大域探索ソルバよりも効率が良い。表1にveeconの大域探索ソルバと局所探索ソルバに同じ問題(Non-guillotine Cutting問題)を解かせた結果を示す。数値は180秒間の間に発見された最適値である。この問題は最大化問題なので、値が大きいほど良い。問題は下に行くほど規模の大きいものになっている。表から分かるとおり、どの問題でも局所探索ソルバの方が良い解を発見している。ここで注意することは、局所探索ソルバを利用するにあたって特別なプログラミングは一切必要が無いことである。どちらのソルバにも全く同じ問題記述のみを与えた。

表1 Non-guillotine Cutting問題による比較

	大域探索	局所探索
ngcut_ap3	201	244
ngcut_ap9	738	869
ngcut_ap12	1492	1777

5. 期待される効果

veeconの局所探索ソルバは、問題記述のみで利用可能、サブシステムとして大域探索ソルバを用いる、といった点において大域探索と局所探索の中間的な存在である。これにより、これまでの「簡単だけど遅い大域探索か速いけどプログラミングが大変な局所探索」という二者択一的な状況が変化するのはないかと期待される。

6. 普及(または活用)の見通し

veeconはオープンソースソフトウェアとして近日中に公開の予定である。商用製品と比較する実行速度、他の制約プログラミングシステムにはない局所探索という機能、そしてスケジューリングや人員配置など様々な場面において制約プログラミングの需要が高まりつつある現状から、普及の見通しは高いと考える。

7. 開発者名(所属)

大西秀志(神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程)