

IoT と LocalSolver

—第四次産業革命と最適化—

01606110 MSI 株式会社 *宮崎 知明 MIYAZAKI Tomoaki
 01705270 MCS 研究所/横河ソリューションサービス 山本 邦雄 YAMAMOTO Kunio
 早稲田大学 藤村 茂 FUJIMURA Shigeru

1. はじめに

IoT: Internet of Things の言葉のもと、あらゆるものが Internet とつながる時代になりつつあり、第四次産業革命と言われ始めている。

蒸気機関の発明、電気の発明、コンピュータの発展、情報ネットワークの進化により、大きく世の中が変わってきた。大容量データ管理実現、情報ネットワークの高速化、CPU の高性能化により、全てのものがインターネットとつながり、データや情報を即時に共有することができつつある。

また、産業界では、インダストリ 4.0 のように、データの標準化が進みつつある。

Iot とビッグデータにより、様々な情報をリアルタイムで獲得することができることで、「制御の自動化」と「予測精度の向上」が期待できる。

様々な自動化、AI (人工知能) が実用化できる時代をむかえ、全業種で研究が進みつつある。

本稿では、第四次産業革命を迎えて、次世代の最適化ソルバーを目指した LocalSolver の概要と大規模最適化問題の適用アプローチを紹介する。

2. これからの最適化

Iot やビッグデータの発展により、誰でも、どこでも、様々なデータ/情報を得る環境が整いつつある。大規模なデータ/情報の中から、必要な情報を即時に得ることが可能となる。またビッグデータから様々な情報を使うことができるようになり、精度の向上した予測データを得ることが可能となる。最適化の適用範囲(地理軸、時間軸、適用プロセス等)を広げる必要がある。

これからの最適化では、以下の要件が必要になると考えられる：

- 大規模な最適化問題への対応
- 目的関数、制約条件の非線形化
- 即時性への対応

LocalSolver は上記の要件を意識した、次世代型ソルバーを目指した、All-In-One ソルバーであり、最適化問題を式形式で表現で、問題対応型の解法を内蔵した。図 1 に大規模最適化分野を示す。

また、Localsolver は、目的関数、制約条件を線形制

約に限らず、非線形関数、集合関数、論理関数で表現できるようになっており、図 2 に LocalSolver が対象とする適用問題と手法を示す。

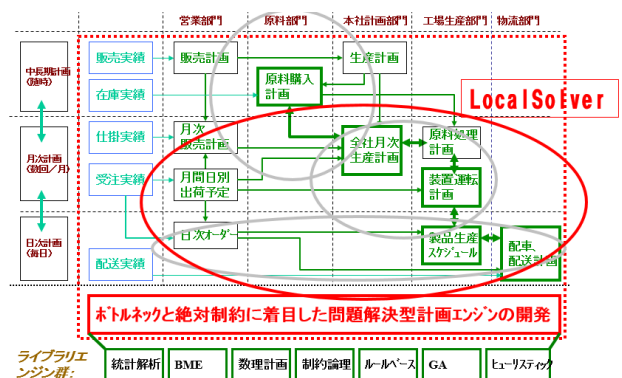


図 1. 大規模最適化分野

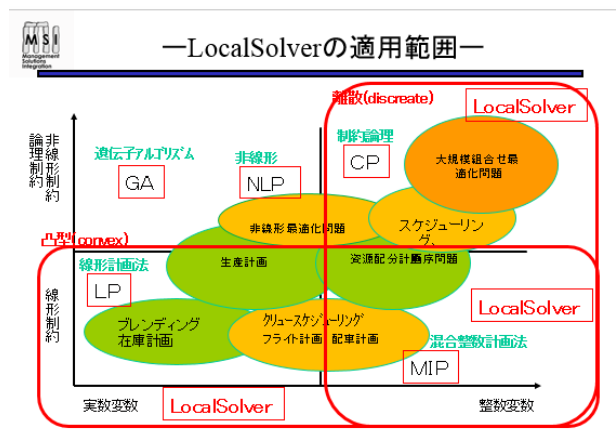


図 2. LocalSolver の適用問題と手法

100 万以上の 0-1 整数変数をもつような大規模な数値最適化問題は、既存の数値計画法システム (MIP) や制約論理システム (CP) では、解探索で組合せ爆発が起こり、実行時間内に解くことは出来なかったのが現状である。

現実世界の多くの問題は大規模組み合わせ最適化問題となる。特に、下記のようなスケジューリング問題に関して、汎用的に解くことができるようになることを、LocalSolver は狙っている。

- ・ 車両の優先順位付け (組立) 問題
- ・ 裁断計画問題 (フィルムなど)
- ・ SCM 問題 (製造-輸送-在庫-販売など)

- ・ 最短路問題（カーナビのルート検索など）
- ・ ネットワーク問題（交通網、通信網、電気、ガスなどの設計）
- ・ 配送計画問題（宅配便、店舗への商品配送、ゴミ収集など）
- ・ 施設配置問題（工場、店舗、公共施設などの配置など）
- ・ 人員スケジューリング問題（看護師等の勤務表、時間割の作成など）
- ・ 機械スケジューリング問題（工場の運転計画、装置稼働計画など）

3. LocalSolver の特徴

LocalSolverは、近傍探索だけでなく、前処理、制約伝播等、既存の数理計画法システムが開発してきたノウハウを取り入れている。図3にLocalSolverが取り入れている手法を示す。

| | | | | | |
|------------------------------------|--|---------------------------------|--|--|----------------------------|
| Feasibility search Optimization | Preprocessing | Neighborhood Search | Moves | | |
| | Model rewriting Structure detection | Simulated annealing Restarts | Combinatorial | Continuous | Mixed |
| Infeasibility proof Lower bound | Constraint inference Variable elimination Domain reduction | Randomization Learning | Small Compound Large | Small Compound Large | Small Compound Large |
| | | Divide & Conquer | Propagation | Relaxation | |
| | Tree search Interval branching | | Discrete propagation Interval propagation | Dual linear relaxation Dual convex relaxation | |

図3. LocalSolver が取り入れている手法

LocalSolverは、まず意思決定変数を定義し、次に制約条件、目的関数を意思決定変数を使って定義することで最適化問題を定義する。

LocalSolverの意思決定変数には、0-1意思決定変数 (**bool**)、上下限を持つ実数意思決定変数 (**float**)、上下限を持つ整数意思決定変数 (**int**) 及びセット化した変数群 (**list**関数) がある。

LocalSolverは、最初に実行可能な意思決定変数の組合せ（実行可能解）を見つけて、それから、解の探索（イタレーション）を意思決定変数の値の入れ替えを一つずつ行うことで進めていく。一回のイタレーションでは、目的関数、制約条件の値を評価し、目的関数の単調性を保証することで最適化を行っている。このため、1回のイタレーションにかかる時間は、目的関数、制約条件式の差分計算だけであり、1秒間に数万から数十万回のイタレーションが可能である。

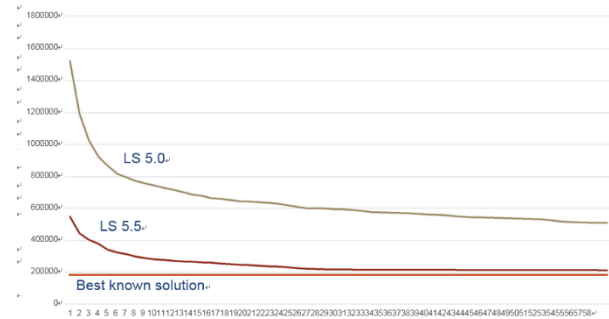
さらに、イタレーションが増えることによる計算精度の劣化もなく、メモリ領域を増やす必要がないため、イタレーションにかかる時間は、単純に問題の大きさに比例するだけである。

3. 大規模最適化問題へのアプローチ

どの工場のどのラインで何をいくつ作り、それをどの物流センタに送るようなSCM問題では、数百万個の0-1意思決定変数を定義することで、30分程度の時間で解を算出している（MIPでは、30分程度で解を出すには、問題を工場ごとに分割する必要があった）。

裁断計画に関しても、数十万個の裁断パターンを最適化するのに30秒程度で実用解をだすことができる（MIPでは1000秒以上かかっても、満足解には到達していない）。

制約付きTSP（巡回セールス問題）では、list関数を使用することで、数年間に200箇所以上をどの月にどう回るかの問題の場合のList関数の効果を以下に示す。



4. おわりに

30年前には殆ど実現出来なかった実用的な大規模最適化問題に対して、実践的な汎用アプローチが実現できる時代になったと考える。「実学に役立つOR」として、人間と機械の調和を実現して日本の産業界の再生の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) T. Benoist, B. Estellon, F. Gardi, R. Megel, K. Nouioua (2011).
 - ・ 「LocalSolver 1.x: a black-box local-search solver for 0-1 programming」、4OR, A Quarterly Journal of Operations Research 9(3), pp. 299-316. Springer.
- 2) MSI 株式会社
 - ・ <http://msi-jp.com/localsolver/> ホームページ
- 3) T. Benoist, J. Darlay, B. Estellon, F. Gardi, R. Megel.
 - ・ 「LocalSolver 4.0 Hybrid Math Programming」、Presentation slides at INFORMS 2014, <http://www.localsolver.com/home.html>
- 4) 山本邦雄、三竹春子、宮崎知明
 - ・ 「IoTを活用したIndustry4.0型実用スケジューリング」、日本OR学会春季研究発表会予稿集、1/2(2016)
- 5) 藤村茂、宮崎知明
 - ・ 「IoTを利用した生産プロセスにおける生産スケジューリング業務のあり方 - Industrie4.0の生産スケジューリングシステム構築に向けて -」、日本OR学会春季研究発表会予稿集、1/2(2016)
- 6) 山本邦雄、三竹治子、宮崎知明
 - ・ 「IoTを活用したスケジューリングの精度向上」、日本OR学会春季研究発表会予稿集、1/2(2016)