

オペレーション関連時間制約スケジューリングでのLocalSolver7.5の活用

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
	MTK 研究所	三竹 治子	MITAKE Haruko

1. はじめに

オペレーション関連のスケジューリングがビッグデータ、IoT、クラウド、Industry4.0の進化により、大規模データに基づくスケジューリングの実現が現実のものとなっている。現状のAIは統計予測をベースとしたものが基本ではあるが、最適化手法をも組み込むことにより、さらなる効率化、自動化が可能となっている。

従来の最適化手法（数理計画法システム）は、解法に即したモデル化が必要であるだけでなく、データの規模が大きくなると実用的な意味で最適解をだすことができなかつたのが現状である。

コンピュータの高性能化（計算スピード、大規模記憶容量、通信速度）により今やAI（人工知能）が盛んに叫ばれ、コンピュータは人間を超えられるかとの議論も盛んになっており、コンピュータによるAIが人間の頭脳を超える時代が2045年に到達すると提唱されている（シンギュラリティ）。

LocalSolverはフランスで開発が進められている次世代の最適化ソルバーであり、大規模組合せ最適化問題等を局所探索をしながら全体最適を目指した進化したメタヒューリスティクス解法であり、リアルライフの問題を現実的な時間内で解決することを目指したソフトウェアである。

最近、AIの言葉のもと、あらゆる自動化と判断力、思考力をコンピュータで実現することが盛んである。IoT: Internet of Thingsの言葉のもと、あらゆるものがInternetとつながり、今までにない情報を使える（ビッグデータ）時代になりつつあり、第四次産業革命と言われるほど世の中が急激に変化し始めている。産業界では、大規模、広範囲な情報、リアルタイムな情報活用により、各種データ精度の向上と生産効率の向上に研究が進みつつある。現時点では、大規模データを使った統計解析とニューラルネットワーク（ディープラーニング）のAIによる自動化が主流であるが、LocalSolverによる大規模な最適化計算やシミュレーション計算を実現することにより、より現実的なリアルライフの問題を解くことができるようになると考える。

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」による効率化、自動化、省力化が期待できる。

IT技術の進歩は目覚しく、ハードウェア性能（CPU、メモリ、ネットワーク、記憶媒体）、ソフトウェア（最適化理論、GUIなど）の進化により、20年前と比べて計算能力、表現能力が飛躍的に増大している。また、コンピュータで扱うことができるデータがあらゆる分野で蓄積され、かつ、リアルタイムで獲得できるようになってきている（「ビッグデータ」の世界）。

このため、昔であったら実現できなかったような人間の思考を支援するシステムの構築が可能になってきており、ますます実践的な最適化システムの要求が高まっている。特に、従来の汎用最適化システムでは実現できなかった大規模組合せ最適化問題の実用解法が求められている。

本稿では、AIに象徴される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LocalSolver7.5の概要と大規模最適化問題の適用事例を紹介する。

LocalSolver7.5は次世代のAll-in-Oneソルバであり、大規模スケジューリング問題を高速に解くことができ、今までにないスケジューリング精度の向上をはかることが可能である。本論文で紹介するLocalSolver7.5は、1000万以上の0-1整数変数及び実数変数を扱うことができる。

LocalSolverの適用範囲（問題）を図1に示す。

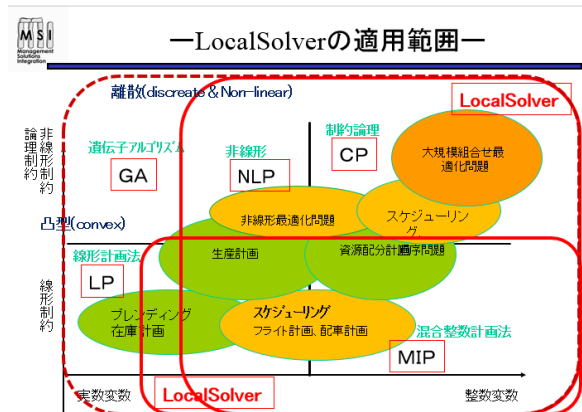


図1. LocalSolverの適用範囲

2. これからの最適化

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
- 時間軸をもった即時性への対応

100 万以上の 0-1 整数変数をもつような大規模な数理最適化問題は、既存の数理計画法システム (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、実用時間内に解くことは出来なかったが、LocalSolver では数分で実用的な答えを出すことができる。図 2. に MIPLIB での実行結果を示す。

instances	status	variables	localsolver 3.1	urobi 5.5	cplex 12.4	gctim
cpm2-10-w2	hard	6,250	* -25,719	-19,601	-19,539	-33,826
cpm2-11-w8	hard	8,019	* -33,028	-21,661	-19,883	-43,485
cpm2-12-w4	hard	10,800	* -46,957	-11,994	-36,469	-64,291
cpm2-13-w7	hard	19,800	* -46,034	-12,378	-39,997	-49,514
pb6	hard	462	-62	-62	-62	-63
queens-30	hard	900	-38	-38	-39	-40
dcl1	open	37,297	11,100,000	21,300,000	1,840,402	unknown
ds-rbg	open	8,020	9,845	62,820	9,284	unknown
esd101-p1	open	39,200	249	251	247	unknown
inv06-b1g	open	1,812,044	* 479	9,416	678	unknown
inv52	open	1,423,439	4,907	16,880	3,285	unknown
mining	open	753,404	* -65,720,600	502,969,000	no solution	unknown
pb-wimp-nomunif	open	23,848	* 90	140	94	unknown
ramos3	open	2,187	* 223	274	267	unknown
mine14	open	32,205	* -3469	-170	-668	unknown
mine21	open	162,547	* -3657	-184	no solution	unknown
mine25	open	326,599	* -3052	-161	no solution	unknown
slens1	open	13,743	256,620,000	315,186,152	54,820,419	unknown
sts405	open	405	342	342	354	unknown
sts729	open	709	648	648	665	unknown

図 2. MIPLIB のベンチマーク結果

3. LocalSolver 7.5 の最新機能

LocalSolver 7.5 は、既存の LP 問題、MIP 問題だけでなく、NLP 問題をもカバーすることができる。

特に、従来の SCM では、モデリングが大規模になりすぎるため、プランニングで方針をきめ、スケジューリングで実行可能生を評価することが多かった。LocalSolver では、スケジューリングレベルの時間軸で変数を定義することができ、プランニングとスケジューリングを同時に解くことが可能である。

LocalSolver 7.5 のおもな新機能を以下に示す：

- 前処理の大幅な改良 (モデルを 10 倍程度縮小)
- MIP 問題で最適化を証明
- MIP 問題での最適解の上界とのギャップの表示
- 大規模組み合わせ問題用の list 機能の大幅改良 (特に TSP 問題)
- 非線形最適化問題の最新最適化機能の組み込み
- 初期解指定機能

LocalSolver は、5W1H を持つ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 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。

大規模最適化事例は当日の発表で示す。

4. おわりに

AI ソリューションをさらなる進化させるために、大規模データと局所探索による最適化計算を加えることで、リアルタイムの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、学術分野の統合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) MSI 株式会社
「<http://msi-jp.com/localsolver/>」ホームページ
- 2) T. Benoit, 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>
- 3) 山本邦雄、三竹春子、宮崎知明
・ 「オペレーション関連時間制約条件の簡素化のための IoT 活用」、日本 OR 学会春季研究発表会予稿集、1/2(2018)
- 4) 宮崎知明、山本邦雄、藤村 茂、三竹春子
・ 「スケジューリング精度向上に寄与する次世代最適化システム - All-in-One Solver : LocalSolver 7.0 -」、スケジューリング・シンポジウム 2017 論文集
- 5) 山本邦雄、三竹治子、宮崎知明
・ 「オペレーション関連時間制約条件精度向上のための IoT 活用」、日本 OR 学会春季研究発表会予稿集、1/2(2018)