

# LocalSolver と大規模最適化

—All-In-Solver を目指して—

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。

コンピュータがめざましく発展し、情報ネットワークの進化がすすみ、大容量データ管理の実現、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。

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。今は、AI による自動化が主流であるが、大規模なデータ活用によるデータの精度向上とモデルによるシミュレーション及び最適化が必要になっている。

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。

本稿では、第四次産業革命を迎えて、次世代の最適化 Solver 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、All-In-One

の次世代型 Solver である。制約条件と目的関数をほとんどフリーな形で表現することができるため、非線形関数、論理関数、集合関数で表現される問題対応型の解法システムといえる。図 1 に LocalSolver が対象とする適用問題と手法を示す。

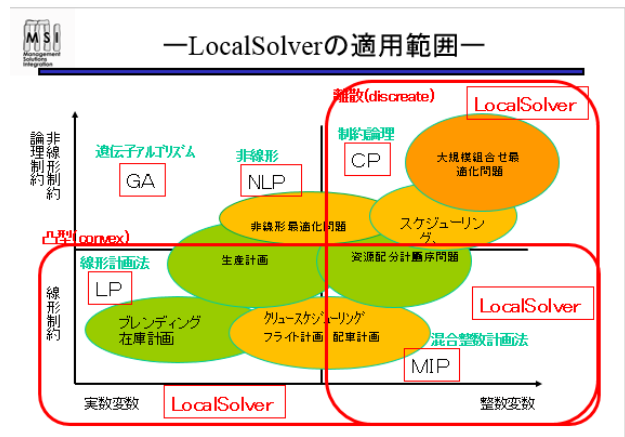


図 1. LocalSolver の適用問題と手法

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、実行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	cosmosolver 3.1	gurobi 9.0	plex 12.4	optimum
opm2-a10-a2	hard	6,250	* -25,719	-19,601	-19,539	-23,826
opm2-a11-a8	hard	9,019	* -39,028	-21,661	-19,893	-43,405
opm2-a12-a14	hard	10,900	* -46,957	-11,994	-36,469	-64,291
opm2-a12-a7	hard	10,900	* -46,034	-12,375	-30,887	-65,514
psf	hard	462	-62	-62	-62	-62
queens-30	hard	900	-38	-38	-38	-60
dc11	open	37,297	11,100,000	21,300,000	1,640,492	unknown
dar-bag	open	6,020	7,815	62,820	5,254	unknown
ex101-mp1	open	25,200	249	251	247	unknown
svu04-bag	open	1,810,944	* 4776	9,845	678	unknown
svu52	open	1,423,438	4,907	16,880	3,285	unknown
mining	open	793,494	* -65,720,600	902,969,000	no solution	unknown
pb-wings-nomunif	open	23,948	* 90	140	94	unknown
ranos3	open	1,387	* 223	274	267	unknown
rmnl4	open	32,205	* -3469	-170	-968	unknown
rmnl21	open	167,547	* -3457	-194	no solution	unknown
rmnl5	open	326,599	* -3052	-161	no solution	unknown
siem1	open	13,741	256,620,000	315,186,152	54,820,419	unknown
sta405	open	405	242	342	354	unknown
sta709	open	709	648	648	665	unknown

図 2. MIPLIB のベンチマーク結果

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、LocalSolver は汎用的に解くことができるようになっている。

- ・ 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 の最新機能

最新のLocalSolverは、BlackBox optimizationと呼ばれる非線形最適化問題にも対応できるようになっている。図3にベンチマーク結果を示す。

Instance	LocalSolver			RBFOpt			NOMAD		
	#sol	Avg. Eval	Error (%)	#sol	Avg. Eval	Error (%)	#sol	Error (%)	
brasin	20	23	0,0	20	31	0,0	20	0,0	
camel	20	26	0,0	20	34	0,0	19	4,0	
ex_4_1_1	20	11	0,0	20	14	0,0	20	0,0	
ex_4_1_2	20	51	0,0	20	9	0,0	20	0,0	
ex_8_1_1	20	10	0,0	20	7	0,0	19	2,5	
ex_8_1_4	20	44	0,0	20	25	0,0	0	341,5	
gear	20	34	0,0	20	7	0,0	0	388,0	
goldsteinprice	18	122	0,1	20	53	0,0	16	450,0	
hartman3	8	130	1,2	20	45	0,0	15	9,4	
hartman6	8	121	11,0	17	101	5,1	0	5,7	
least	0	150	1308,0	0	150	204,7	0	129,0	
msv04	20	70	0,0	19	64	194,4	4	9997,0	
msv06	16	127	1,0	0	150	13,3	9	8,7	
msv09	20	15	0,0	20	14	0,0	16	1,2	
msv16	8	138	949,0	20	49	0,0	9	885,0	
perm0_8	0	150	109,0	0	150	147,2	0	412,0	
perm_6	0	150	242498,0	0	150	44134,7	0	311032,0	
rbrock	20	83	0,0	5	136	10,8	0	43,2	
schoen_10_1	4	145	66,7	11	139	28,8	0	119,5	
schoen_10_2	0	150	96,2	14	133	1,6	0	115,7	
schoen_6_1	18	101	100,8	18	101	1,8	0	51,5	
schoen_6_2	10	120	28,0	16	102	32,7	0	54,2	
shekel10	8	118	29,6	13	107	60,1	0	56,9	
shekel15	6	127	51,6	7	126	51,7	1	46,1	
shekel17	6	127	28,5	5	137	47,0	2	47,9	
		310		345		170			

図3. 非線形最適化問題のベンチマーク結果

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、最初に行う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。

### 4. 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秒程度で実行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)。

### 5. 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)