

藤澤克樹

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
教授

ポストペタスケールシステムにおける超大規模グラフ最適化基盤

§ 1. 研究実施体制

(1)「大規模最適化」グループ(九州大学)

① 研究代表者:藤澤克樹(九州大学マス・フォア・インダストリ研究所、教授)

② 研究項目

- ・ 超大規模データを伴う最適化問題に対する高速計算システムの構築と評価
- ・ 高速グラフ探索アルゴリズム開発
- ・ 超並列スレッドを用いた数理計画問題に対する高性能ソルバの開発
- ・ 実グラフデータを用いた実証実験
- ・ グラフ解析及び数理最適化を用いた新しい産業応用の開拓と促進

(2)「大規模グラフ処理系」グループ(アイルランド国立大学 University College Dublin)

① 主たる共同研究者:鈴木豊太郎(アイルランド国立大学 University College Dublin、客員准教授)

② 研究項目

- ・ 大規模グラフ処理ライブラリ ScaleGraph の研究開発・応用
- ・ スケーラブルなグラフ探索アルゴリズムの研究開発
- ・ GraphX/Spark ベースのグラフベンチマークパッケージ GraphXBench の構築と性能評価

(3)「大規模グラフストア」グループ(東京工業大学)

① 主たる共同研究者:主たる共同研究者:佐藤仁(東京工業大学・学術国際情報センター、特任助教)

② 研究項目

- ・ 大規模グラフ処理向けデータストアの開発

- ・大規模グラフストア設計、プロトタイプ実装
- ・グラフ I/O ライブラリ開発 (X10 ベース)、グラフ I/O 最適化アルゴリズム開発
- ・性能最適化・安定化
- ・他コンポーネントとの統合

§ 2. 研究実施の概要

新しいスーパーコンピュータの応用として大規模なグラフ解析が注目を集めている。グラフ解析の応用分野としては大規模災害等での避難誘導計画，社会公共政策や企業経営等のためソーシャルネットワーク等の大規模データの有効活用等が想定されているが，非常に計算量やデータ量さらに電力使用量などの規模が大きく従来の手法では処理が困難である。そのため次世代ポストペタスーパーコンピュータでの大規模グラフ解析を想定した場合、アルゴリズム的及び系統的に解決すべき課題の特定とそれらの解決策の提案が急務とされている。本研究で重点的に取り組む課題は以下の二つとなる

- 1: 並列数の爆発的増大及び不均質化や高密度化による性能向上の困難性
- 2: 記憶装置の多階層化・大容量化への対応

平成27年度は以下の研究に対して重点的に取り組み、多くの成果を上げた。

平成27年度の研究成果：藤澤チーム

- 超大規模ネットワーク（数兆頂点）に対する**解析アルゴリズムの高速実装**
 - **Graph500 ベンチマーク 2期連続（通算3期）世界第1位**
 - **GreenGraph500ベンチマーク 6期連続世界第1位**
- 世界最高性能の並列最適化ソルバの開発：
世界最大規模の数理計画問題（233万制約）を解いて 1.774ペタFlopsを達成
- **都市 OS 最適化エンジン開発(九大 COI)・IoT時代のビッグデータ、オープンデータの長期・中期・短期スパンでの分析と最適化**



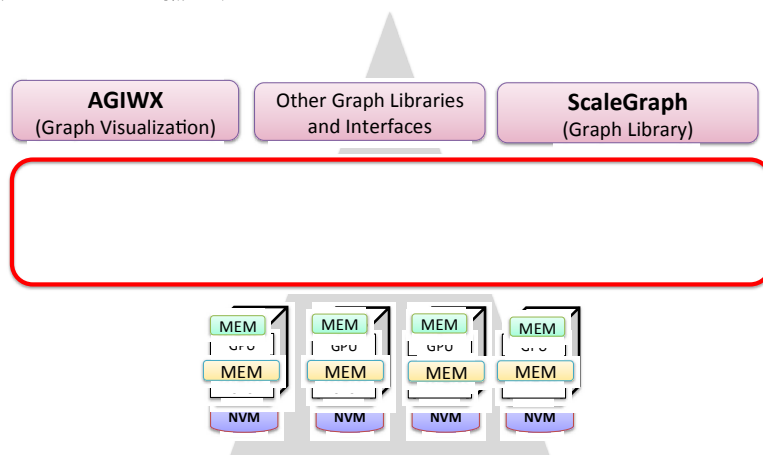
JST・CREST: 領域 ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出
「ポストペタスケールシステムにおける超大規模グラフ最適化基盤」代表 (H23.10~H29.3)



1. アクセラレータ等による大規模かつヘテロな環境下における世界最高性能の大規模グラフ解析及び数理最適化システムの開発と評価
 - Green Graph500 (<http://green.graph500.org>) は並行探索，最短路探索をはじめとする最適化，極大独立集合などのグラフ解析，などの複数のグラフ処理カーネルからなるベンチマークであり、単位電力あたりのグラフ探索の性能(TEPS/W)を評価しランキングを行う。
 - 超大規模ネットワーク(数兆頂点)に対する解析アルゴリズムの高速実装
 - Graph500 ベンチマーク 2期連続(通算3期)世界第1位
 - GreenGraph500 ベンチマーク 6期連続世界第1位

- 世界最高性能の並列最適化ソルバの開発：
 - 大規模な数理最適化問題（半正定値計画問題：SDP）に対する並列ソルバの開発と評価。SDP は現在最も注目されている数理最適化問題の一つであり、組合せ最適化、データマイニング、量子化学、制御分野など非常に幅広い応用を持っている。世界最高性能の並列ソルバの開発に成功し、東工大スパコン Tsubame2.5 上で 1.774PFlops (4080GPU) を達成した。平成 26 年度に引き続き世界記録の更新に成功した。
- ポストペタスケールの超並列環境向けのグラフ処理の要素技術

これまで、ポストペタスケールの超並列環境向けのグラフ処理の要素技術として、GPU や不揮発性メモリを考慮した MapReduce に基づくグラフ処理(GPU を考慮した MapReduce 処理系である HAMAR による GIMV モデルによるグラフ処理)や Graph500 向け BFS(NETALX)に対し、メモリの階層性を考慮した最適なデータ配置・管理を行うことにより、メモリの容量を超えるサイズのグラフデータに対しても out-of-core 処理で高速な実行が行える実装を開発してきた。本年度は、これまでの進捗を踏まえ、これらの実装に対して実際にアプリケーションから利用するシナリオや、将来のメモリ階層が深化した計算機アーキテクチャ(DRAM と Flash 混在型のユニバーサルメモリや STT-MRAM, ReRAM, PCM, FeRAM などの次世代 NVM)を想定し、さらなる安定化、最適化を進め、実際にアプリケーション・サービスからの利用のシナリオに適応するための整備を行った。



2. 都市 OS 最適化エンジン開発(九大 COI との連携)・IoT 時代のビッグデータ、オープンデータの長期・中期・短期スパンでの分析と最適化

スマートシティ実現のための社会基盤システムとして、道路や電力網などのインフラを含めた都市計画への活用から、ヒト/モノの動きの解析まで多岐にわたる課題を解決していくことを目的とする。特にヒトやモノの移動性（モビリティ）に関する数理モデルの構築と分類されたデータの活用、また高速計算手法の開発と検証に重点をおいて、意思決定のために許容される時間に応じた多階層型のデータ解析及び最適化システムの構築を行う。関連するプロジェクトや民間企業とも連携し、グラフ解析や数理計画問題等の活用で人流と交通流など多種データの複雑な条件の最適化を行うための

都市における社会実装を推進している。

【代表的な原著論文】

1. Katsuki Fujisawa, Toyotaro Suzumura, Hitoshi Sato, Koji Ueno, Yuichiro Yasui, Keita, Iwabuchi, and Toshio Endo, Advanced Computing & Optimization Infrastructure for Extremely Large-Scale Graphs on Post Peta-Scale Supercomputers, Fujisawa, Katsuki, Shinano, Yuji, and Waki, Hayato (eds.), Proceedings of the Optimization in the Real World Toward Solving Real-World Optimization Problems, Series of Mathematics for Industry, Springer, 2015.
2. Toyotaro Suzumura and Koji Ueno, "ScaleGraph: A high-performance library for billion-scale graph analytics," Big Data (Big Data), 2015 IEEE International Conference on, Santa Clara, CA, 2015, pp. 76-84.
3. Hideyuki Shamoto, Koichi Shirahata, Aleksandr Drozd, Hitoshi Sato, Satoshi Matsuoka, "GPU-Accelerated Large-scale Distributed Sorting Coping with Device Memory Capacity", IEEE Transactions on Big Data, Volume PP, Issue 99, pp.1-13, 2016