

## 研究課題別評価

1 研究課題名: マルチ PC クラスタ上での数値最適化問題求解アプリケーションの開発

2 研究者氏名: 合田 憲人

3 研究のねらい:

グリッドは、インターネット等の広域ネットワーク上の情報資源(計算機や実験装置等)を安全に安定して容易に利用するための基盤技術である。グリッドの利用者(ユーザ)は、ネットワーク上の情報資源をセキュリティ上安全に、利用したい時に安定して利用することが可能であり、また自分がどのネットワークを経由してどの情報資源を利用しているか等の環境を意識する必要がない、即ち簡単に情報資源を利用したサービスを受けることができる。グリッドコンピューティングは、グリッド上の地理的に分散した複数の計算機を利用して高性能計算を行う技術であり、インターネット上の複数の小規模な計算機を集めることにより得られるスーパーコンピュータ並みの計算能力を利用する、またはより多くの計算資源を用いることにより高性能なスーパーコンピュータでも解けないような未知の大規模問題を解くための計算技術として注目されている。

本研究は、グリッドコンピューティングを用いて最適化問題計算を高速に実現する手法を開発することを目的としている。最適化問題は、与えられた制約条件の下で目的関数の値を最小(または最大)にする解を求める問題であり、オペレーションズリサーチ、制御工学、情報工学等の様々な工学分野上の問題を解決するために解かれている。しかしながら、最適化問題計算では、対象とする問題が大きくなるとともに求解に要する計算時間が非常に大きくなり、その計算に数時間から数ヶ月を要する問題も多く、解決が諦められている大規模問題も少なくない。本研究では、このような未解決な最適化問題の求解を実現するための高性能計算技術を開発することにより、大規模最適化問題の求解に貢献することを目指している。また、グリッドコンピューティング技術はまだ黎明期にあり、その応用についても現在では一部のアプリケーションに限られている。本研究では、最適化問題分野に貢献するだけでなく、グリッドコンピューティング技術の新たな応用分野を開拓するという点で計算機科学分野へ貢献することも目指している。

4 研究成果:

本研究では、グリッド上で最適化問題求解手法の一つである並列分枝限定法アプリケーションを効率よく実行するための計算手法を提案し、提案手法に基づくアプリケーションプログラムの開発とグリッド実験環境上での実証実験により、提案手法の有効性を示した。以下、各研究項目について、その成果を示す。

### 4.1. グリッド技術による複数 PC クラスタの統合

本研究項目では、インターネットに接続された PC クラスタから構成されるグリッド実験環境を構築した。具体的には、東京工業大学すずかけ台キャンパス、同大岡山キャンパス、東京電機大学、徳島大学に設置された 4 台の PC クラスタ(400CPU 超)から構成されるグリッド実験環境を各サイトの研究者からの協力を得ながら構築し、本研究で開発したアプリケーションプログラムを実装した。

### 4.2. 数値最適化問題求解アプリケーションプログラムの開発

本研究項目では、最適化問題の求解手法として広く用いられている分枝限定法を取り上げ、グリッド上で分枝限定法により最適化問題を効率よく求解するための並列化手法の提案およびアプリケーションプログラムの開発、グリッド上での実証実験を行った。

並列化手法については、初めに、PC クラスタ等のローカルマシン上で用いられるマスター・ワーカ

方式による並列化では、グリッド上での効率よい並列計算が実現できないことを実証実験により示すとともに、グリッド上の通信オーバーヘッドを軽減しながら効率よく並列計算を実現できる階層的マスタ・ワーカ方式による並列化手法を提案した。実証実験では、グリッド上でアプリケーションプログラムを実行する際に重要となるセキュリティおよび通信オーバーヘッドに関する問題を解決するために、2種類のGridRPCを組み合わせて提案手法を実装し、最終的に4サイト412CPUから構成されるグリッド実験環境上で、逐次計算では9時間半を要するベンチマーク問題(BMI固有値問題)を4分半で求解することに成功し、提案手法およびその実装手法の有効性を示した。また、開発したアプリケーションプログラムをユーザがウェブブラウザ上で容易に実行可能なユーザインターフェースを開発した。

#### 4.3. アプリケーションスケジューリング技術の開発

本研究項目では、4.2で開発したアプリケーションプログラムの性能をさらに向上させるためのアプリケーションスケジューリング手法として、PCクラスタ間負荷分散手法およびPCクラスタ内タスク粒度調整手法を提案し、実証実験によりその有効性を示した。PCクラスタ間負荷分散手法の開発では、アプリケーション実行中におけるグリッド上のPCクラスタの負荷を監視し、負荷の不均衡が発生した場合に、個々のPCクラスタの性能に応じたタスクの再分散を実行する負荷分散アルゴリズムを提案し、4.2で開発したアプリケーションプログラム中に実装した。また、負荷分散アルゴリズムの評価を公正に実現するために、グリッド上の資源の振る舞い、即ちネットワークの混雑や計算機負荷の変動、を擬似的に再現可能な擬似グリッド実験環境を構築し、提案手法の性能評価に用いた。PCクラスタ内のタスク粒度調整手法の開発では、初めに、PCクラスタ上で分枝限定法アプリケーションをマスタ・ワーカ方式により並列化する場合に、タスク粒度と通信オーバーヘッドに関するトレードオフが存在することを実証実験により示すとともに、暫定値の更新頻度をもとにタスク粒度を動的に調整するアルゴリズムを提案し、4.2で開発したアプリケーション中に実装した。

#### 4.4 今後期待される成果

本研究において提案された手法は、分枝限定法により求解される他の最適化問題にも適用可能であり、本研究成果は、グリッドコンピューティング技術の最適化問題分野における大規模問題求解へ応用を促進するものとして期待される。また、本研究が提案した階層的マスタ・ワーカ方式による並列化手法は、グリッド上で細粒度アプリケーションの実行を行う場合に有効であり、今後、細粒度アプリケーションのグリッド上での実行方式として広く用いられることが期待される。

### 5 自己評価:

本研究における自己評価を研究項目毎に以下に示す。

#### 5.1 グリッド技術による複数PCクラスタの統合

本研究項目の目標は、本研究で開発するアプリケーションのグリッド上での大規模実証実験を実現するための環境の構築である。本研究の開始当初には、グリッドを構築するためのソフトウェアの安定性の問題や設定の煩雑さのため、大規模グリッド実験環境を構築した例はほとんどなかったが、本研究では、4サイト400CPU超からなるグリッド実験環境の構築を実現しており、当初の目標が達成されたといえる。

また本研究では、当初目標の他に、大規模グリッド実験環境を構築するためのノウハウを蓄積したとともに、これらのノウハウを他のグリッド研究者と共有することにより、国内のグリッドインフラ構築に関する研究促進に貢献したと考えられる。さらに、本研究で構築されたグリッド実験環境の一部は、現在、アジア太平洋地域にまたがるグリッド実験環境構築を目指した国際協力プロジェクトであるApGridの実験環境として利用可能である他、先進的計算基盤システムシンポジウム

(SACIS2005)に併設して開催されているグリッドチャレンジにも提供されており、国内外のグリッドインフラ構築に貢献している。

#### 5.2 数値最適化問題求解アプリケーションプログラムの開発

本研究項目の目標は、グリッド上で分枝限定法により効率よく最適化問題を求解するための並列化手法の提案とアプリケーションプログラムの開発である。本研究では、階層的マスタ・ワーカ方式による並列化手法を提案し、アプリケーションプログラムを開発するとともに、実証実験によりその有効性も示しており、当初の目標を達成したといえる。

#### 5.3 アプリケーションスケジューリング技術の開発

本研究項目の目標は、5.2 で開発したアプリケーションプログラムの性能をさらに向上させるためのアプリケーションスケジューリング手法を提案し、アプリケーションプログラムに組み込むことである。本研究では、PC クラスタ間の負荷分散手法および PC クラスタ内のタスク粒度調整手法を提案するとともに、実証実験によりアプリケーションプログラムの実行時間短縮に成功しており、当初の目標を達成したといえる。

また提案手法の性能評価では、グリッド上の計算機やネットワークの振る舞いを擬似的に再現することが可能な疑似グリッド実験環境の必要性が認識されたため、当初目標にはないが、本実験環境構築手法の開発に着手した。本手法については、さきがけ研究期間終了後もさらに研究を進める予定である。

#### 5.4 その他

本研究では、上記にあげた当初目標以外に、グリッド技術の普及を目指して、アプリケーション分野の研究者との交流活動にも力を入れた。本活動では、グリッド技術やハイパフォーマンスコンピューティング分野だけでなく、数理最適化、制御工学、進化計算等、最適化問題と関わりのあるアプリケーション分野の研究者とのディスカッションを頻繁に行うとともに、計測自動制御学会における招待講演(自律分散システム部会研究会 2004 年 12 月 10 日)、電気学会におけるシンポジウムの企画・開催(「グリッドコンピューティングを用いた最適化問題計算への取り組み」、2005 年 3 月 19 日)等を行い、「グリッド上での最適化問題計算」をキーワードとしたコミュニティの形成にも大きく貢献したと考えられる。

#### 6 研究総括の見解:

グリッドコンピューティング技術はまだ黎明期にあり、その応用についても現在では一部のアプリケーションに限られている。合田研究者は、4 サイト 400CPU 超からなるグリッド実験環境を構築することによりそのノウハウを蓄積し、国内外のグリッドインフラ構築に関する研究に大きな貢献をした。また、グリッド上で分枝限定法により最適化問題を効率よく解く手法として階層的マスタ・ワーカ方式による並列化手法を提案し、提案手法に基づくアプリケーションプログラムの開発とグリッド実験環境上での実証実験により、その有効性を示した。具体的には逐次計算では 9 時間半を要するベンチマーク問題(BMI 固有値問題)を 4 分半で求解することに成功した。

また、ハイパフォーマンスコンピューティング分野の研究者はもとより、数理最適化、制御工学、進化計算等最適化問題と関わりのあるアプリケーション分野の研究者との交流活動に力を入れ、グリッド技術の普及を目指してその牽引車として活躍中であり、今後の研究の進展が大いに期待される。

#### 7 主な論文等:

##### (1) 論文

[1] Kento Aida, Tomotaka Osumi, "A Case Study in Running a Parallel Branch and Bound

Application on the Grid," Proc. IEEE/IPSJ The 2005 Symposium on Applications & the Internet (SAINT2005), Feb. 2005

- [2] 合田 憲人, 大角 知孝, "グリッド上での並列分枝限定法アプリケーション", インターネットカンファレンス 2004 講演論文集, pp.73-81, 2004 年 10 月
- [3] Kento Aida, Wataru Natsume, Yoshiaki Futakata, "Distributed Computing with Hierarchical Master-worker Paradigm for Parallel Branch and Bound Algorithm," Proc. 3rd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid 2003), pp.156-163, May. 2003
- [4] Kento Aida, Yoshiaki Futakata, Shinji Hara, "High-performance Parallel and Distributed Computing for the BMI Eigenvalue Problem," Proc. 16th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2002), Apr. 2002

### (2) 招待講演

- [1] 合田 憲人, "グリッドコンピューティングと最適化問題への応用", 平成 17 年電気学会全国大会後援論文集, 3-S18-1, 2005 年 3 月
- [2] 大角 知孝, 合田 憲人, "グリッドコンピューティングを用いた並列分枝限定法", 平成 17 年電気学会全国大会後援論文集, 3-S18-6, 2005 年 3 月
- [3] 合田 憲人, "PC クラスタ/グリッドコンピューティングによる分枝限定法の高速度化", 計測自動制御学会 第 34 回自律分散システム部会研究会, 2004 年 12 月
- [4] 合田 憲人, "グリッド上での最適化問題求解アプリケーション", 情報処理学会連続セミナー 2003 グリッドコンピューティング, 2003 年 12 月

### (3) 一般講演

- [1] 合田 憲人, 大角 知孝, 中村 心至, "グリッド上での並列分枝限定法アプリケーションの評価", 情報処理学会研究報告 2004-HPC-99, pp.139-144, 2004 年 7 月
- [2] 大角 知孝, 合田 憲人, "階層的マスタワーカ方式を用いたグリッドアプリケーションにおける負荷分散の性能評価", 情報処理学会研究報告 2004-HPC-99, pp.31-36, 2004 年 7 月
- [3] 合田 憲人, 中村 心至, "細粒度最適化問題アプリケーションのグリッド テストベッド上への実装", 情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム (HPCS2004), pp.75-76, 2004 年 1 月
- [4] 中村 心至, 山田 真太郎, 二方 克昌, 合田 憲人, "PC クラスタ上での並列分枝限定法の高速度化手法", 情報処理学会研究報告 2003-HPC-95, pp.125-130, 2003 年 8 月
- [5] 夏目 亘, 合田 憲人, 二方 克昌, "階層的マスタワーカ方式による BMI 固有値問題の Grid 計算", 情報処理学会研究報告 2002-HPC-91, pp.73-78, 2002 年 8 月
- [6] 合田 憲人, 夏目 亘, "Grid 計算環境上での数値最適化問題求解のためのアプリケーションスケジューリング", 情報処理学会・電子情報通信学会 並列処理シンポジウム JSPP2002, pp.163-164, 2002 年 5 月
- [7] Kento Aida, Mitsuhiro Fukuda, Masakazu Kojima, Shinji Hara, Katsuki Fujisawa, Yoshiaki Futakata, " High Performance Grid Computing for Optimization Problems," New Trends in Optimization and Computational Algorithms, pp.83-84, Dec. 2001