

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

Heisei nen gatu nitigenzai

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：平成21年～平成23年

課題番号：21500083

研究課題名（和文）ピア・ツー・ピア・グリッド用並列データ転送に関する研究

研究課題名（英文）Study on Parallel Data Transmission for Peer-to-Peer Grid

研究代表者

中里秀則（NAKAZATO HIDENORI）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：30329156

研究成果の概要（和文）：

本研究では、遠隔地のパーソナルコンピュータ（PC）をネットワーク接続することによって構成したピア・ツー・ピア（P2P）ネットワークによって、大量の計算処理を高速で行うグリッドコンピューティング（P2P グリッド）分散処理環境において、大容量データの転送が必要なグリッドアプリケーションのための、データ転送技術について検討を行った。複数の TCP セッションを同一のノード間に設定し、それらセッション間の連携を取ることによって、より効率的に大容量データを転送する方法を提案した。また BitTorrent のような並列転送を活用することによって高速化を図る方法についても検討を行った。さらに、ボトルネックとなる通信リンクを有効に活用する方法として、データの符号化を活用することによって、効率を上げる方法についても検討を加えた。

本研究の成果により、これら大容量データの転送が必要な処理に対しても P2P グリッドによるグリッドコンピューティングを適用する上で必要となる高速データ転送を可能にした。

研究成果の概要（英文）：

This research is concerned with data transmission method for computer-grid applications that are executed in peer-to-peer grid environment (P2P Grid) and require transmission of large amount of data. A P2P Grid is a distributed system that is made of a peer-to-peer network composed of remote personal computers (PCs) mutually connected by networks. We proposed a speed-up method for data transmission by setting up multiple TCP sessions between two nodes and letting the sessions cooperate. Also we studied another speed-up method by utilizing BitTorrent-like parallel transmission. In addition, a method to improve data transmission efficiency by utilizing data encoding in order to use bottleneck communication link efficiently is considered.

By utilizing the results of this research, we can apply P2P grid computing to data processing that requires transmission of large data.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成21年度	1,300,000	390,000	1,690,000
平成22年度	800,000	240,000	1,040,000
平成23年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ネットワークプロトコル、ピア・ツー・ピア、グリッド、データ転送

1. 研究開始当初の背景

マイクロプロセッサ技術とインターネット技術の発展により、インターネットに接続された PC は人々の生活になくなくてはならないものとなったが、技術は既に一般ユーザの必要とする能力を超え、余剰な処理能力は一般ユーザのデスクの上で眠っている状況となっている。その余剰処理能力を有効に活用し、大量の処理能力を必要とする計算処理を実行するグリッドコンピューティングが利用されるようになってきた。これまでのグリッドコンピューティングでは、参加する各パーソナルコンピュータ(PC)に専用のソフトウェアをインストールすることにより、特定の目的のための専用グリッドを構築している場合が多い。また、さまざまなプログラムの実行に共用することのできるグリッドの場合であっても、プログラムの実行を中央で管理するディスパッチャがあり、プログラムの実行を行うワーカは、ディスパッチャと実行に必要な情報の送受を行う集中制御形の構造になっていた。

本来、資源の共有は、ディスパッチャのような単一のユーザが行うのではなく、多くのユーザが同じく資源を共有するピア・ツー・ピア(P2P)モデルの方が、本来の資源を共有するという目的と合致する。また、参加するユーザ PC の数が増加した場合、ディスパッチャ・ワーカモデルではディスパッチャがボトルネックとなり、システムを有効に活用できないという現象が生じる。

そこで、グリッドコンピューティングが提案された当初から、ディスパッチャ・ワーカという関係ではなく、各 PC が対等な関係でシステムに参加する、P2P 形のグリッドの可能性が言及されており、さまざまな検討がされている。

グリッドコンピューティングでは、ネットワーク経由でデータのやり取りをするため、大容量データの転送が必要な処理、例えばコンピュータグラフィクスにおけるレンダリングといった処理には、その適用は不向きであると考えられてきた。一方、デジタル技術の進展や広帯域ネットワークの普及に伴い、デジタル技術を活用した大容量コンテンツの利用が一般のユーザに広まりつつあり、静止画、動画といった大容量コンテンツの製作・加工には、現在の高性能の PC でも長い

時間を要するため、グリッドコンピューティング技術を活用し、より高速で処理ができることが望まれている。そこで、これら大容量データの転送が必要な処理に対しても P2P グリッドによるグリッドコンピューティングを適用可能とするために、ここでは高速データ転送技術に関する研究提案を行うこととした。

2. 研究の目的

研究代表者のグループでは、遠隔地の PC を、ネットワーク接続することによって構成した P2P ネットワークによって、大量の計算処理を高速で行うグリッドコンピューティング(P2P グリッド)を実現することを目指して研究を行っている。本研究課題では、P2P グリッドにおいて、大容量データの転送が必要なグリッドアプリケーションのための、データ転送技術について研究を行った。

P2P グリッドでは、一つの大きなプログラムを分割して各ピアに割り当てることになる。一つの部分プログラムでは、他の部分プログラムや情報源からデータが到着することを待ち合わせるために、実行を延期あるいは中断するということが発生する。本研究課題で検討するデータ転送高速化技術の目的は、上記の実行延期/中断を最小限にすることである。

3. 研究の方法

ピア間のデータ転送を高速化するために、並列転送およびデータの投機的配置を利用する。

並列転送方式については、そのパラメータ値および輻輳制御方式の最適化により高速化を図る。そのためにパラメータ値、輻輳制御方式を変えた場合のデータ転送の振る舞いについて調査を行う。データの投機的な事前配置方式についても、最適なパラメータ設定を求めることにより最適化を図る。

4. 研究成果

P2P グリッドでのファイルの並列転送において、並列度の最適性および TCP 輻輳制御方式について検討を行った。

ネットワーク帯域と並列度の関係について検討し、ネットワーク帯域に応じた最適並列度の設定方法を求める。

通常データ転送に用いる TCP では広帯域ネットワークや遅延の大きい場合に、スループットが上がらないという、いわゆる帯域遅延積問題がある。帯域遅延積問題を解決するため

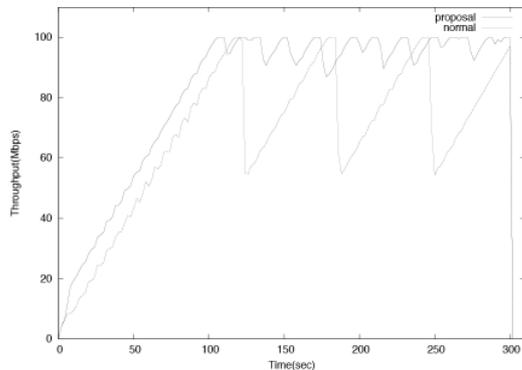


図 1: 既存手法と提案手法のスループット

に、複数 TCP 接続を同時に利用する GridFTP という方法が提案されているが、GridFTP では、複数の TCP 接続はそれぞれ独立に輻輳制御を行うため、グローバル同期という脈動が発生し、帯域を十分に使うことができない。

そこで、それら複数の TCP を連携させる方法を提案した。提案手法では、検出された輻輳の兆候が、1 パケットの損失である場合、一つの TCP のみ制限をかけ、その他の TCP 接続には制限をかけない。また再送タイムアウトの場合には、他の TCP 接続にも制限をかけるというものである。

その手法によって、図 1 のように、利用帯域を安定させ、データ転送を高速化することができた。

しかしながら、上記提案では TCP としては、一般に利用されている TCP Reno を仮定していたため、輻輳の度合いを十分に把握することができず、重度の輻輳の場合の制御が不十分であった。

この問題を克服するために、TCP Westwood を

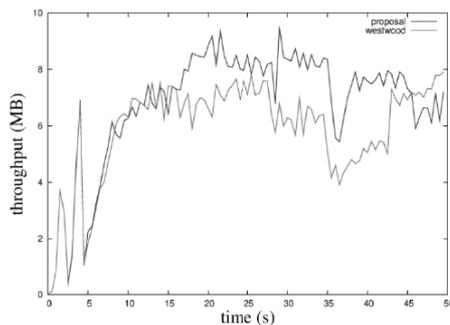


図 2: 軽度の輻輳時のスループット

活用し、その制御方式の中で使われているパケットの遅延時間を利用することにより、再送タイムアウトの場合についても、その中で

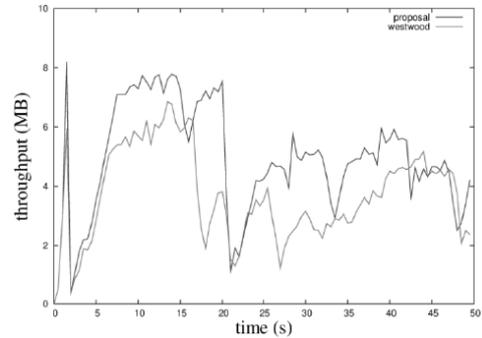


図 3: 重度の輻輳時のスループット

も重度の輻輳の場合と軽度の輻輳の場合を区別することにより、より適した処置ができるように改良を施した。その結果、軽度の輻輳の場合は図 2 に示すように、また重度の輻輳の場合についても図 3 に示すように、それぞれスループットを改善し、データ転送の高速化を達成することができた。

BitTorrent のようなファイル並列転送では、

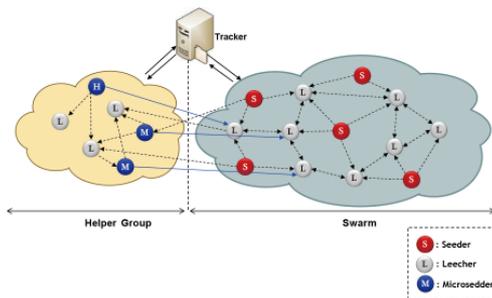


図 4: Helper Peer の構成

転送先 PC 数が多い方が、ファイル転送時間を短縮できることが判っている。そこで、実際にはファイルを必要としない PC に投機的にファイル転送を行うことによって、ファイル転送時間を短縮できる可能性がある。具体的には、図 4 のように、ファイルを必要とす

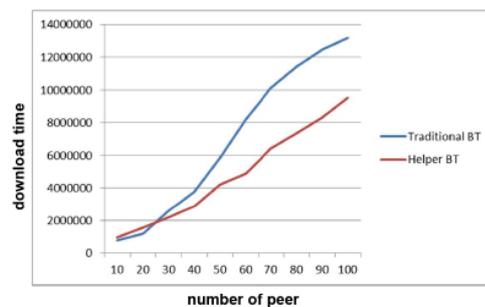


図 5: Helper Peer による高速化

るピアのグループである Swarm の他に、ファイルが必要としないピアのグループである Helper Group を用意し、ファイルダウンロードを行う。

このような Helper Peer を使った投機的ファイル転送を行うことにより、図5に示すように、ファイル転送時間を短縮することに成功した。

さらなるデータ転送高速化、高効率化のために、データ符号化を利用する方法についても追加的に検討を開始した。この方法は一般的にはネットワークコーディングと呼ばれるものである。ネットワークコーディングでは、ネットワーク内のすべてのノードで符号化を行うことによって、そのネットワークが転送できる能力を完全に使いきってデータの転送が可能になる。

しかし、われわれは、必ずしもすべてのノードで符号化を行わなくても、それに匹敵する効率でデータ転送を実現できることを発見した。

例えば、図6のような2クラスタとデータソ

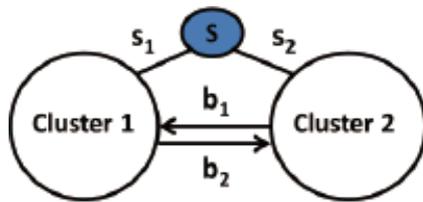


図6: 2クラスタトポロジ

ースからなるネットワークを考える。ここで、クラスタとは、同一クラスタに属するノード間の通信に広い帯域のネットワーク接続があるノード群である。図6の構成では二つのクラスタ間のネットワーク接続の帯域は狭くなっている。

この場合、データソースであるノードSにおいて符号化を実施するだけで、図7に示すよ

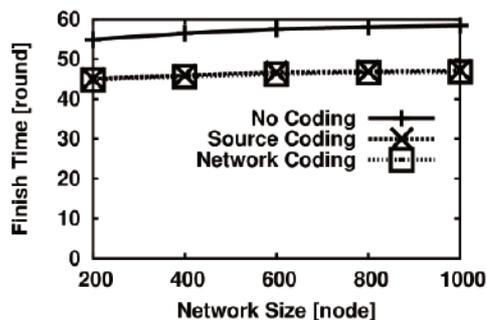


図7: 最適冗長度における完了時間

うに、データ転送効率をネットワークコーディングを用いてすべてのノードで符号化を行った場合と同等の性能を、ソースノードでデータ量を1.6倍の冗長度になるように符号化するだけで達成することができる。

この効率を達成できるかどうかは、適切な冗長度の設定に係わっており、図8に示すよう

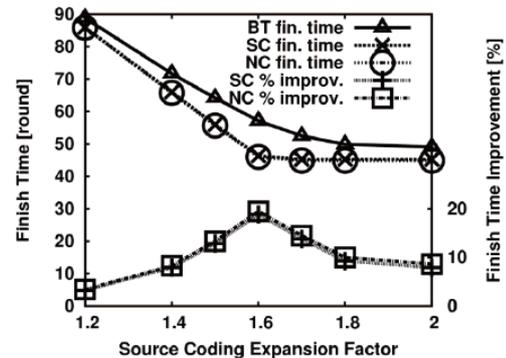


図8: 冗長度による効率の変化

に冗長度の設定によって効率も変化することも判明した。本研究課題は終了したが、今後符号化によるデータ転送の効率化について見当を続けていく予定である。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計6件)

小島 航史, 中里 秀則, GridFTP の並列転送方式の高速化を実現する輻輳制御手法の研究, 信学技報, IN2011-165, pp. 169-174, 2012年3月

Dinh Nguyen, Hidenori Nakazato, Peer-to-Peer Content Distribution in Clustered Topologies with Source Coding, Proceedings of 2011 IEEE GLOBECOM, December 2011.

小島 航史, 中里 秀則, GridFTP における並列転送方式の高速化を実現する輻輳制御方式に関する研究, 2011年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集, B-7-58, 2011年9月.

羅 維, 金光 永煥, 王 歆, 中里 秀則, 完全分散型 P2P-Grid におけるピアグルーピング手法の提案, 信学技報, CS2011-27, pp. 97-102, 2011年7月

Nguyen Quoc Dinh and Hidenori Nakazato, Peer-to-Peer Content Distribution with Source Coding, 2010年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集, BS-7-13, 2010年9月.

柏原貴之、中里秀則、GridFTP における並列
転送方式の高速化を実現する輻輳制御方式
に関する研究、信学技報、vol. 109、no. 411、
IN2009-141、pp. 87-92、2010 年 2 月 a1

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中里 秀則 (早稲田大学)

研究者番号 : 30329156