

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330146

研究課題名(和文)大規模並列コンピュータの通信ネットワーク中の通信状況可視化技術の開発

研究課題名(英文)A study of visualization method for communication behavior of network used in large scale parallel computer

研究代表者

石畑 宏明 (ISHIHATA, Hiroaki)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授

研究者番号：90468885

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大規模並列コンピュータの通信ネットワーク上の通信状況を分かりやすく提示する可視化手法を開発した。ネットワークシミュレータや実機から得られたネットワークの通信に関する統計情報から、その特徴を抽出し、通信パターンに対応した輻輳状況のエッセンスのみを抽出・表示する。特徴抽出には、k-means法を用い、実機やネットワークシミュレータから得られた、各スイッチのポートごとの通信状況をクラスタリングし、それぞれのクラスに適当に着色してネットワークトポロジ上に表示する。この方法により、通信パターンの変化を捉えることができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed the visualization technique of the network congestion in large scale parallel computer. The displayed communication features are extracted from raw statistic data of network communication. Raw data from network simulator and real large scale parallel computer and k-means method is used to extract features. The results are visualized on the picture of network topology by coloring depends on their amounts of data transfer on each ports of the switch in the network. Using this, we can recognize the difference of the communication pattern.

研究分野：コンピュータアーキテクチャ

キーワード：可視化 通信ネットワーク ネットワークトポロジ

## 1. 研究開始当初の背景

超並列コンピュータでは、数万～数十万のノードコンピュータを通信ネットワークで接続する必要があり、メッシュやトーラスといった低コストではあるが通信時に輻輳が多く発生しやすい通信ネットワークを選択せざるを得ない。このような性能の低い通信ネットワークを効率よく利用するために、ネットワーク中での輻輳の影響を考慮に入れた通信アルゴリズムの開発が急務となっている。このためには、設計した通信アルゴリズムに従ってノード間通信を行ったときに、メッセージがネットワーク中でどのように振る舞うのかを正しく認識し、通信時間に与える影響を精度よく評価することが必要となる。

## 2. 研究の目的

本研究では、大規模並列コンピュータの通信ネットワーク上の通信状況を分かりやすく提示する可視化手法を開発する。本研究では、図1のように、通信ネットワークのトポロジ上に通信の輻輳状況を関連付けて三次元表示する。しかし、数千ノード以上の大規模構成ではノードやリンクの表示が重なり、視点の奥側やネットワークトポロジの内側部分が判別できなくなる問題がある。

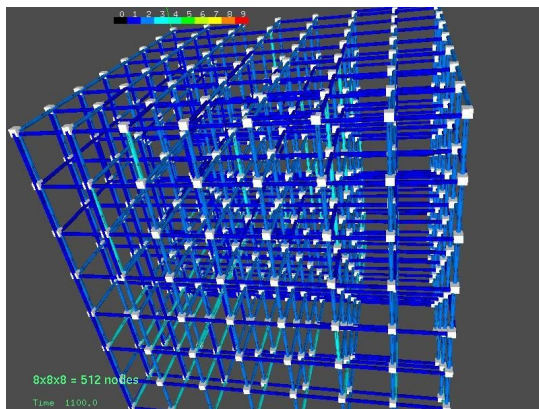


図1. 3次元メッシュトポロジネットワークでの通信状況を表示した例

そこで、本研究では、ネットワークの輻輳状況などを示す直接の生データから特徴を抽出し、通信パターンに対応した輻輳状況のエッセンスのみを表示する技術を開発しこれを解決する。

## 3. 研究の方法

我々は、これまで科研費(22500052)のサポートを得て、超並列コンピュータ向け高効率通信アルゴリズム開発・評価環境の開発を行ってきた。この開発環境内で、実機や通信シミュレータから得られた通信ログを解析し、通信アルゴリズムの開発・評価を行う。

通信のボトルネックがネットワークトポロジ上のどの場所で発生しているかを示すために、ネットワークのトポロジと輻輳の状況を関連付けて三次元表示する可視化機能を持っている。時系列の表示を組み合わせることにより、直感的に通信の状況を把握できるようにした。

一方、このツールの表示では、通信ログのデータをネットワークトポロジ上にマッピングして表示している。このため、ネットワークの構成が大規模になると、ネットワークの内部深くに存在するノードやリンクが、その前面にあるノードやリンクに隠されてしまい、状況の把握が困難になる。図2に、京コンピュータに採用されたTofuトポロジの82944ノードの表示の例を示す。

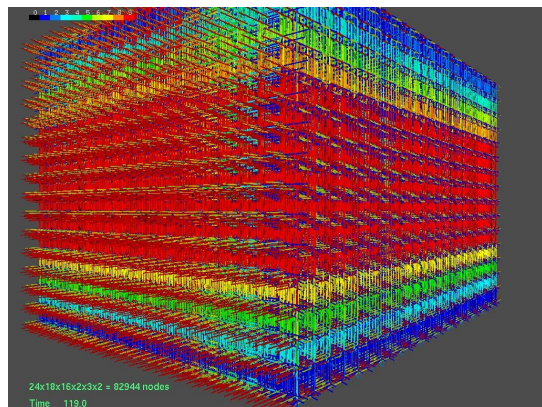


図2 82944 ノードTofuトポロジの通信状況

Tofuトポロジでは、6次元を3次元に表示するために、サイズの小さい3次元分を内部にまとめて配置しており、ノードやリンクの配置密度は単純な3次元よりも高い。数千ノード以上の構成では、ネットワークの裏側や内側部分の状況の把握が困難であることが分かる。

## 4. 研究成果

研究プロジェクトの初年度は、通信ログファイルから算出したリンク使用率や通信の待ち時間など(以後単に「データ」と呼ぶ)の値で表示を切り替えるフィルター機能の拡張(図3)と特定の面で分割した状態を表示する機能の拡張(図4)を行った。

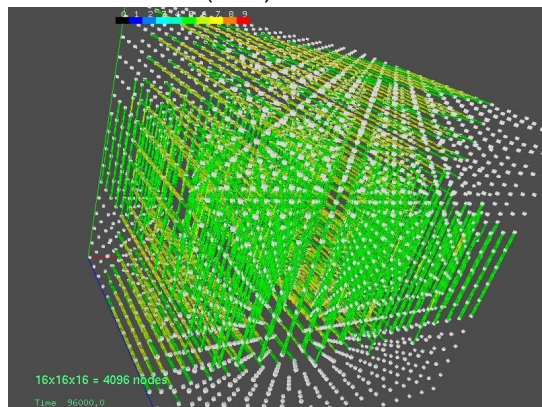


図3. 通信量によるフィルター表示の例

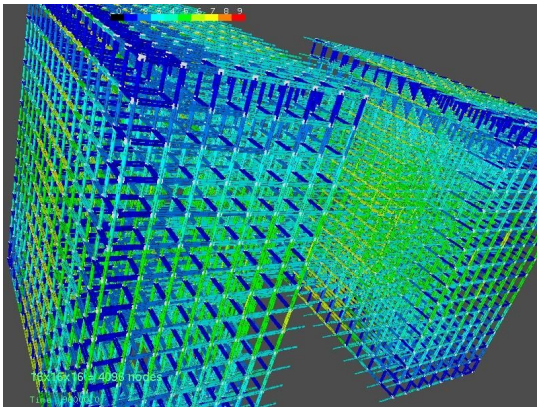


図4. 任意断面での分割表示機能の例

2年目以降は、通信パターンに対応した輻輳状況のエッセンスのみを表示する技術の開発に注力した。まず、ネットワーク内の各リンクを流れる単位時間当たりのデータ量に着目し、クラスタリングを試みた。具体的には、個々のノード(3次元メッシュを想定すると、6個の双方向リンクを持つ)において、データの流入量が最大のポートとデータ流出量が最大のポートの組み合わせを抽出した。

表1. フロー方向クラスタリングの分類

クラスタ	色	パターン内容
FDC0	赤	X方向通過
FDC1	緑	Y方向通過
FDC2	青	Z方向通過
FDC3	赤	X方向送受信
FDC4	緑	Y方向送受信
FDC5	青	Z方向送受信
FDC6	黄	X→Y方向通過
FDC7	紫	X→Z方向通過
FDC8	青	Y→Z方向通過
FDC9	赤	X方向送信
FDC10	緑	Y方向送信
FDC11	青	Z方向送信
FDC12	赤	X方向受信
FDC13	緑	Y方向受信
FDC14	青	Z方向受信
FDC15	非表示	入出力無し

上の表のように、最大流入のポートと最大流出のポートの組み合わせから、そのノードにおける大まかなデータの流れを分類できる。この方法を「フロー方向クラスタリング」と呼ぶ。

この手法によって、個々の中継ノードでどのようなルーティングが行われているかを

可視化できた。図5は、8x8x8構成のネットワークを持つシステムで、左端の2x2x2の8ノードが、右下の対応する2x2x2の8ノードに連続してデータを送る状況を可視化したものである。表に示されている色に対応して、x方向の通過が赤色、x方向からy方向への転換が黄色、y方向の通過が緑色、y方向からz方向への転換がシアン、z方向の通過が青色で表示される。

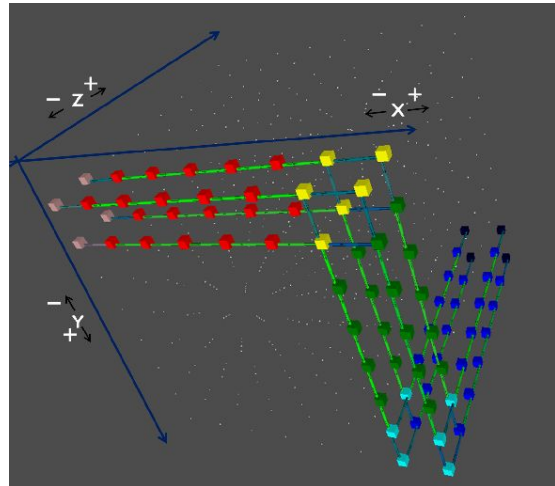


図5. フロー方向クラスタリングの結果

さらに、フロー方向クラスタリングのように人手でデータの流れを分類するのではなく、全データから自動的に分類することを試みた。具体的には、k-means法を用いて、各ノードの6方向の入出力データ量をクラスタリングした。

先ほどと同様の通信パターンをk-means法を用いて自動的に分類を行った。表2がその結果で、C0がx方向通過、C2がy方向通過、C4がz方向通過、C1がy→z方向転換、C3がx→y方向転換であるフロー方向クラスタリングとほぼ同様に、x方向通過、y方向通過、z方向通過、x→y方向転換、y→z方向転換の分類ができているのがわかる。

表2. k-means法によるクラスタリング結果

	色	X+	X-	Y+	Y-	Z+	Z-
C0	赤	89%	0%	0%	0%	0%	0%
C1	黄	0%	0%	9%	0%	46%	0%
C2	緑	3%	0%	83%	0%	0%	0%
C3	青	49%	0%	14%	0%	0%	0%
C4	青	0%	0%	3%	0%	89%	0%
C5	赤	0%	0%	0%	0%	0%	0%

図6に、k-means法によるクラスタリング結果の可視化例を示す。データの流れがフロー方向クラスタリングの場合と同様に示されていることがわかる。

本研究の成果は、大学の「並列・分散処理」の講義中で、並列コンピュータの通信ネットワークのトポロジと通信アルゴリズムの関連を説明する際に使用し、学生からは「わかりやすい」と好評であった。今後は、さらに複雑な通信パターンの自動抽出について検



討を進めたい。

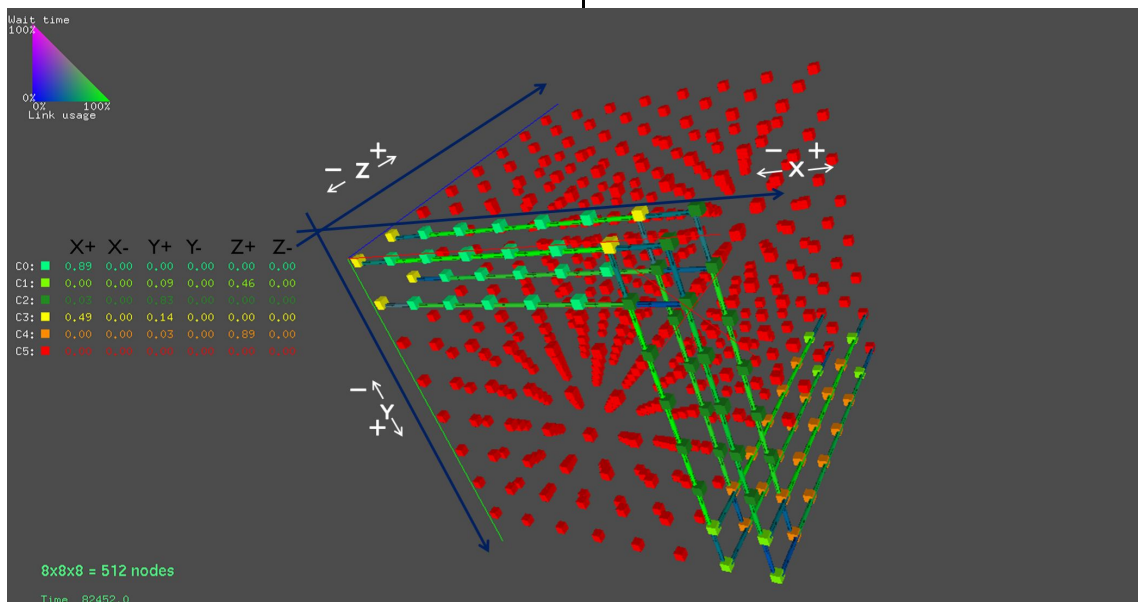


図6 .k-means法によるクスタリングの結果

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

鈴木 遼平, 石畑 宏明, トポロジーを意識した通信アルゴリズム開発のための可視化ツール, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, J96-D, No. 10, pp. 2110-2117, Oct. 2013.

[学会発表](計 4 件)

菅生 伸也, 矢崎 俊志, 石畑 宏明, クラスタリングを用いた並列コンピュータネットワークトラフィック特徴抽出の提案, 第77回情報処理学会全国大会, 2J-8, Mar. 17, 2015, 京都大学吉田キャンパス(京都府)

矢崎 俊志, 石畑 宏明, ハンズオン講義・デモンストレーションを支援する計算機システム向けフロントエンド環境の提案, 情報処理学会研究報告(HPC), HPC-148, pp. 1-6, Mar. 2, 2015, 花菱ホテル(大分県別府市)

石畑 宏明, 論理回路教育支援ツールの試作, 電子情報通信学会技術報告, ET2014-97, pp. 65-69, Mar. 14, 2015, あわぎんホール(徳島県徳島市)

今仁順也, 長名優子, 菊池眞之, 伊藤雅仁, 石畑宏明, プログラミングの初年度導入教育に関する実施報告, 電子情報通信学会技術報告, ET2015-51, Vol. 115, No. 285, pp. 43-48, Oct. 31, 2015, 日本文理大学湯布院研修所(大分県由布市)

[その他]

ホームページ等

<http://www2.teu.ac.jp/his/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

石畑 宏明 (ISHIHATA, Hiroaki)  
東京工科大学・コンピュータサイエンス部・教授

研究者番号: 90468885