

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

菅生 伸也[†] 矢崎 俊志[‡] 石畑 宏明[‡]東京工科大学 コンピュータサイエンス学部[†] 電気通信大学[‡]

1. はじめに

並列処理ではノード間の通信を行いながら処理を進める。通信を行うノードのうち、ネットワーク中の通信競合の影響で通信が進まないノードが多くなることもある。これを解決するには、ノード間通信の振る舞いを考慮した適切な通信アルゴリズムが必要となる。そのようなアルゴリズムを作るためには、ノード間通信の通信状況を理解することが重要になる。

本研究では、並列コンピュータのノード間通信の振る舞いを理解するために、測定した通信トラフィックからその特徴量を抽出・可視化する方法を提案する。

2. 通信アルゴリズム開発ツール

鈴木ら[1]は通信ログ可視化ツール CLV を開発した。CLV は実際の並列計算コンピュータの通信や、通信シミュレーションの結果から得られるログを可視化する。任意の時刻のネットワーク統計情報を 3 次元ネットワークトポロジに重ねて表示できる。

ツールの構成を図 1 に示す。開発者はまず考案した通信アルゴリズムを実装する。実機なら MPI プログラムを、シミュレータなら通信シナリオ（メッセージファイル）を作成する。アルゴリズムを実行し、通信ログを取得する。通信ログを評価ツールで分析し、通信アルゴリズムを修正する。

3. トラフィックの特徴抽出

トーラスネットワークは、各次元の両エッジを接続するリンクを持つ格子状のネットワークである。トーラスネットワークはコストに対するスケーラビリティが良いため、大規模並列計算機に採用されている。

しかし、Fattree などの Tree 型ネットワーク

Communication traffic pattern extraction for parallel computer network by using clustering method

[†] S. Sugo · Tokyo University of Technology Graduate School

[‡] S. Yazaki · The University of Electro-Communications

[‡] H. Ishihata · Tokyo University of Technology

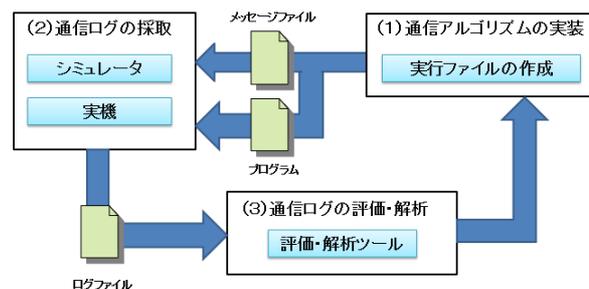


図 1 可視化ツールの構成

に比べ、通信競合が起きやすく、通信の工夫がより重要となる。本研究では、トーラスネットワークを対象としてトラフィックの特徴抽出を行う。

ネットワークはノードとそれらを結ぶリンクで構成される。ノード数が増えるとリンク使用率や通信方向などのトラフィックの特徴を把握することが難しくなる。トラフィック特徴抽出には、全時刻における、全てのノードについて X , Y , Z 軸の各双方向のリンク使用率を集約してわかりやすく表示する必要がある。

リンク使用率は通信開始から終了までに X , Y , Z 軸双方向のリンクを通過するデータのリンク帯域幅に対する割合である。本論文では、各リンクの使用率を、 k -means 法を用いて各リンク使用率をクラスタリングする。クラスタリング結果は 3 次元トーラストポロジ上にリンク使用率と対応する色で表示する。

4. 実験

ネットワークシミュレータを用い、 $8 \times 8 \times 8$ の 3 次元トーラスネットワークを持つ 512 ノードのシステム上で、 X , Y , Z の各軸方向に隣接するノード間で互いに通信する隣接通信を行う実験を行った。

プログラム開発者が意図したトポロジと実行環境のトポロジが異なるケースを想定し、 $7 \times 7 \times 7$ の 343 ノードが同様の隣接通信する実験も行った。 $8 \times 8 \times 8$ 構成の 512 ノードのうち Z 軸の値が小さい方の $2/3$ 程度の直方体の形状に含まれ

表 1. 色とクラスタの対応表とリンク使用率 (%)

| | | トポロジ一致(実験1) | | | | | |
|------|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| クラスタ | 色 | X+ | X- | Y+ | Y- | Z+ | Z- |
| C0 | 黄 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| C1 | 橙 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| C2 | 赤 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| C3 | 青 | 18% | 18% | 18% | 18% | 15% | 15% |
| C4 | 緑 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| C5 | 黄緑 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | | トポロジ不一致(実験2) | | | | | |
| クラスタ | 色 | X+ | X- | Y+ | Y- | Z+ | Z- |
| C0 | 黄 | 44% | 42% | 37% | 38% | 16% | 11% |
| C1 | 橙 | 42% | 7% | 18% | 59% | 44% | 3% |
| C2 | 赤 | 1% | 0% | 3% | 3% | 38% | 1% |
| C3 | 青 | 25% | 7% | 26% | 25% | 9% | 5% |
| C4 | 緑 | 9% | 2% | 9% | 39% | 40% | 3% |
| C5 | 黄緑 | 0% | 0% | 1% | 1% | 2% | 1% |

るノードが通信を行う。プログラマが想定した X, Y, Z 方向が隣接しているという想定が成り立たなくなる状況である。

想定したトポロジ上および、想定と異なるトポロジ上における通信アルゴリズムの動作の違いが確認できるか実験した。8×8×8 のトポロジで、8×8×8 の隣接通信を行う実験 1 と、7×7×7 の隣接通信をする実験 2 を行った。

5. 結果

実験の結果を図 2, クラスタリングの結果を表 1 に示す。分類したクラスタはそれぞれ表 1 に示した色で 3 次元トポロジ上のそれぞれに所属するノードへ表示する。

表 1 から、実験 1 では次の 2 パターンのクラスタが得られた。

- ① X, Y, Z 軸方向のリンクをほぼ均等に使用
- ② 全方向のリンクを使用しない

図 2 左を見ると全ノードが C3 のクラスタに属していることが確認できる。これにより、実験 1 ではすべてのノードが同じ割合で X, Y, Z 軸方向のリンクをほぼ均等に使用していることが分かる。これは隣接通信の特徴と一致する。

次に、表 1 の結果から、実験 2 では次の 5 パターンのクラスタが得られた。

- ① X, Y 軸方向のリンクを主に使用
- ② X+, Y-, Z+方向のリンクを主に使用
- ③ Z+方向のリンクのみを主に使用
- ④ X+, Y 軸のリンクを主に使用
- ⑤ Y-, Z+のリンクを主に使用

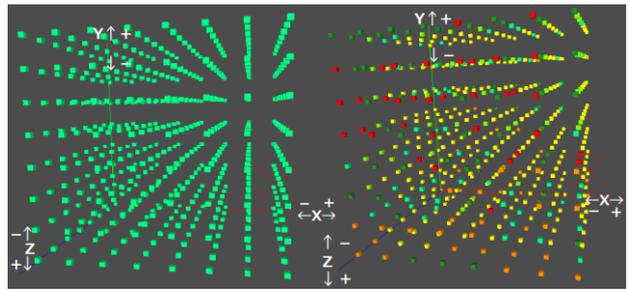


図 2. 実験結果 (左: 実験 1, 右: 実験 2)

図 2 右より、次のことが分かる。この時刻における各クラスタの大きさとしては、C0 が最も大きい。C0 に比べると小さいが、C1~C4 クラスタの分布の特徴に大きな差はない。これらのことから、実験 2 において X, Y 軸, Z+方向リンクを均等に使用しており、それに比べると Z-方向のリンク使用率が少ないことが分かる。これは隣接通信の特徴と一致しない。

トラスネットワーク上での隣接通信において、トポロジが想定と一致する場合は、通信パターンの特徴を示すクラスタが得られた。トポロジが一致しない場合には、クラスタリングの結果から異なる振る舞いがあることを確認することができた。

実験 1 と実験 2 から、k-means 法による各リンクのクラスタリングが通信トラフィックの特徴抽出において有効であることを示した。提案手法は、クラスタにより通信全体の特徴を把握でき、任意の時刻における通信状況を 3 次元トラストポロジ上で確認できる。クラスタリングの結果から、実際のトポロジと通信のトポロジが一致していないことを判別できる可能性がある。

6. まとめ

本論文では、測定した通信トラフィックからその特徴抽出・可視化する手法を提案した。隣接通信のような単純な通信パターンでは、その特徴を判別できることを示した。

参考文献

[1] 鈴木ら, 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, 情報・システム J96-D(10), 2110-2117, 2013-10-01

[2] Katherine E. Isaacs ら, STAR-State of The Art Report, Eurographics Conference on Visualization (EuroVis) (2014), State of The Art Performance Visualization