

情報通信工学専門実験 A

経路選択アルゴリズムの実装と評価

学籍番号：08D23091

氏名：辻 孝弥

2024 年 5 月 21 日実験

1 実験目的

本実験では、コンピュータネットワークにおける経路選択アルゴリズムを実装し、その性能を評価することを目的とする。具体的には、以下の 6 種類の経路選択アルゴリズムを実装し、呼損率という観点から性能を比較・評価する。

1. 最小ホップ経路を用いた固定経路 (Dijkstra アルゴリズム)
2. 最大路を用いた固定経路
3. 最小ホップを用いた要求時経路
4. 最大路を用いた要求時経路
5. 空き容量の逆数を考慮した経路
6. 最短最大路 (Shortest Widest Path)

また、指数分布に基づく通信モデルを導入し、より現実的なネットワーク環境でのシミュレーション評価を行う。

2 実験の理論的背景

2.1 経路選択アルゴリズム

2.1.1 最小ホップ経路 (Dijkstra アルゴリズム)

Dijkstra アルゴリズムは、グラフ上の単一始点最短経路問題を解くためのアルゴリズムである。各ノード間の距離 (ホップ数) を考慮し、始点から終点までの最短経路を求める。具体的には、未確定ノードの中から最短距離のノードを選び、そのノードを経由した場合の各ノードへの距離を更新していくという処理を繰り返す。

2.1.2 最大路アルゴリズム

最大路アルゴリズムは、経路上のボトルネックリンク（最も帯域幅が狭いリンク）の容量が最大となる経路を求めるアルゴリズムである。ネットワーク上の各リンクに容量があり、その容量が大きいリンクを優先的に使用することで、大きなデータ転送に適した経路を選択する。

2.1.3 要求時経路選択

要求時経路選択では、通信要求が発生した時点での空き容量に基づいて動的に経路を選択する。これにより、ネットワークの状態変化に適応した柔軟な経路選択が可能となる。

2.1.4 空き容量の逆数を考慮した経路選択

空き容量の逆数を考慮した経路選択では、リンクの重みを空き容量の逆数として扱う。空き容量が少ないリンクほど高いコストが設定され、混雑したリンクを避ける経路が選択される。

2.1.5 最短最大路 (Shortest Widest Path)

最短最大路は、まず最大の帯域幅を持つ経路群を見つけ、その中から最もホップ数の少ない経路を選択するアルゴリズムである。これにより、十分な帯域を確保しつつ、効率的な経路を実現する。

2.2 評価指標

2.2.1 呼損率

呼損率は、全通信要求のうち、経路が確立できなかった通信の割合を表す。数式で表すと以下のようになる。

$$\text{呼損率} = \frac{\text{確立できなかった通信数}}{\text{全通信要求数}} \quad (1)$$

2.3 通信モデル

本実験では、指数分布に基づく通信モデルを採用した。通信の到着間隔と保持時間は指数分布に従って生成される。指数分布はランダムな事象の間隔を表すのに適しており、通信の発生パターンをより現実的にモデル化することができる。

3 実験結果

3.1 実装したアルゴリズムの動作

各経路選択アルゴリズムを実装し、10 ノードからなるネットワークでシミュレーションを行った。以下に各アルゴリズムの特徴と実装方法について述べる。

3.1.1 最小ホップ経路 (Dijkstra)

始点から各ノードまでの最短距離を計算し、前ノード表を作成することで経路を特定する。未確定ノードの中から最短距離のノードを選ぶ処理を繰り返す実装とした。

3.1.2 最大路

リンクを容量の大きい順にソートし、大きな容量のリンクから順に追加していき、始点から終点への経路が見つかった時点でその経路を最大路として採用する。これにより、ボトルネックリンクの容量が最大の経路を見つけることができる。

3.1.3 要求時経路

通信要求があった時点でのネットワークの状態（リンクの空き容量）に基づいて経路を計算する。最小ホップ要求時経路では空き容量のあるリンクのみを使用して最短経路を計算し、最大路要求時経路では空き容量をリンクの重みとして最大路を計算する。

3.1.4 空き容量の逆数を考慮した経路

各リンクの重みを空き容量の逆数として設定し、Dijkstra アルゴリズムを適用する。これにより、空き容量の少ないリンクを避ける経路が選択される。

3.1.5 最短最大路

まず最大帯域幅を持つ経路を見つけ、その帯域幅以上の容量を持つリンクのみを使用して最短経路を計算する 2 段階のアプローチで実装した。

3.2 アルゴリズムの評価結果

図 1 に、各経路選択アルゴリズムにおけるパラメータ n と呼損率の関係を示す。パラメータ n は通信の持続時間に相当し、値が大きいほど長時間の通信を表す。

評価結果から、以下の点が観察された：

1. すべての経路選択方法でパラメータ n の増大に伴い呼損率が上昇したが、上昇速度は方式によって異なった。
2. $n \leq 10$ の短時間通信では要求時経路選択（特に最小ホップ／最大路要求時、空き容量の逆数、最短最大路）がほぼゼロに近い呼損率を達成し、固定経路選択よりも優れていた。
3. $n = 20$ 付近では要求時経路選択の優位性が残るものの差は縮小し、 $n \geq 50$ になると最小ホップ固定経路が最も低い呼損率（例： $n = 50$ で 0.5222）を示し、要求時経路選択は急激に悪化した。
4. 最小ホップ固定経路は全体的に安定した曲線を描き、長時間通信領域で依然として最小呼損率を維持した。

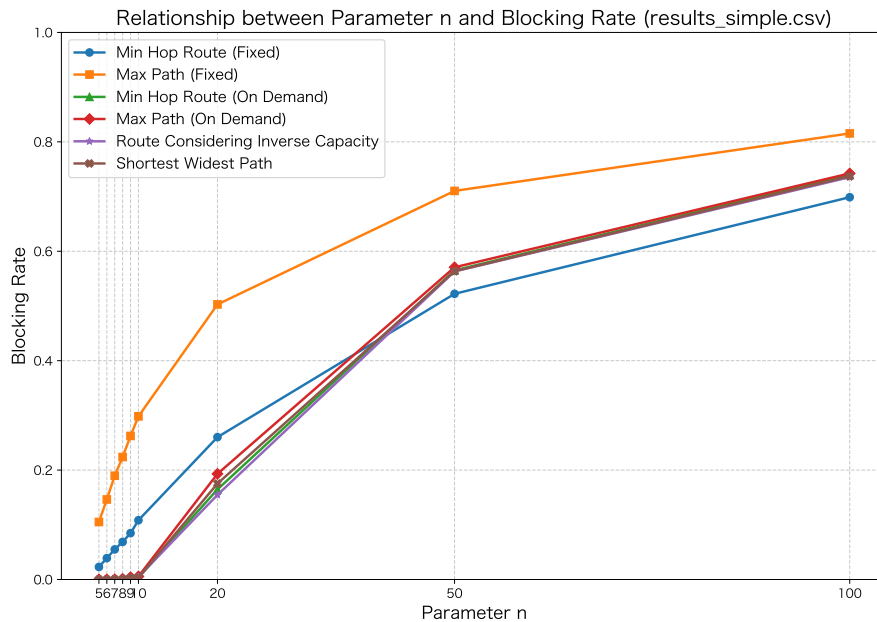


図1 パラメータ n と呼損率の関係

5. 最大路固定経路は常に最小ホップ固定より高い呼損率を示したが、短時間通信での差は小さく、長時間通信では他方式と同程度の性能となった。

4 考察

4.1 経路選択方法の性能比較

実験結果から、通信時間の長さによって最適な経路選択方法が異なることが分かった。

短時間通信 ($n \leq 10$) では要求時経路選択がほぼゼロに近い呼損率を実現した。通信が短時間で終了するためネットワーク混雑が発生しにくく、要求時にリンク状態を考慮する方式が高い効果を発揮したと考えられる。

一方、長時間通信 ($n \geq 50$) では最小ホップ固定経路が最も低い呼損率を示し、要求時経路選択は大幅に性能が低下した。長時間通信では確立された経路が長くリンク資源を占有するため、動的に選択された経路もすぐに輻輳に巻き込まれることが要因と考えられる。

4.2 新規アルゴリズムの評価

本実験で新たに実装した「空き容量の逆数を考慮した経路」と「最短最大路」について考察する。空き容量の逆数を考慮した経路および最短最大路は短時間通信でほぼゼロの呼損率を達成した

特に $n \geq 50$ ではリンク資源の占有が長期化し、後続通信の経路確立が困難となるため呼損率が高くなることが確認できた。

従来の等間隔評価に比べ、指数分布による評価手法を導入したことで、より現実的な通信パターンをシミュレーションすることができた。実際のネットワークでは、通信の到着時間や持続時間は一様分布ではなく、より確率的な性質を持つため、指数分布に基づくモデルはより現実に近い評価を可能にしたと考えられる。

Figure 10 is a line graph titled "Comparison of All Routing Methods and λ Values". The Y-axis represents the "Blocking Rate" ranging from 0.0 to 1.0. The X-axis represents the "Parameter n" with values 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 50, and 100. The graph compares 16 different routing methods, each evaluated at five λ values (0.00010, 0.00010, 0.00010, 0.00010, 0.00010). The methods include Min Hop Route, Max Path, Shortest Widest Path, and Route Considering Inverse Capacity. The graph shows that blocking rate generally increases with n and decreases with λ . The legend is extensive, listing each method and λ combination with a unique color and marker.

特に、図 3 に示す最小ホップ固定経路の結果から、 λ 値の影響をより詳細に観察できる。 $\lambda = 0.0001$ の場合、通信要求の間隔が十分長いので、比較的低い呼損率を維持できている。一方、 $\lambda = 1.0$ では通信要求が頻繁に発生するため、呼損率が大幅に上昇している。

5

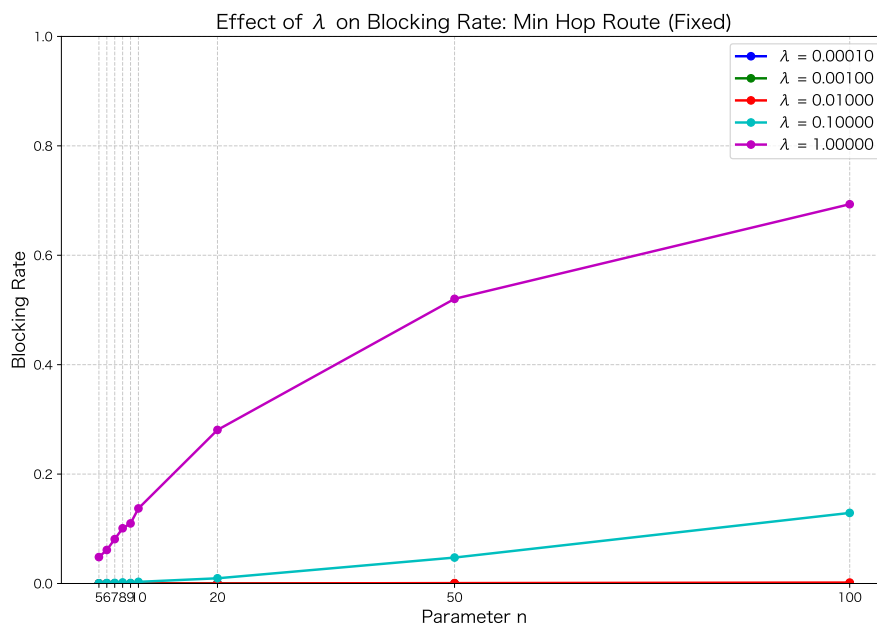


図3 異なる λ 値に対する最小ホップ固定経路の呼損率

ズムの性能をより正確に予測することができるようになった。また、通信要求の到着パターンがアルゴリズムの性能に与える影響を定量的に評価することが可能となり、より実践的な経路選択方式の設計に役立つ知見が得られた。

5 まとめ

本実験では、6種類の経路選択アルゴリズムを実装し、指数分布に基づく通信モデルを用いてその性能を評価した。実験結果から、通信時間の長さによって最適な経路選択方法が異なることが明らかになった。

短時間通信では要求時経路選択が効果的である一方、長時間通信では固定経路選択が比較的安定した性能を示すことが分かった。

実際のネットワークでは、短時間通信と長時間通信が混在するため、通信の特性に応じて適切な経路選択アルゴリズムを選択することが重要である。

今後の課題としては、実際のトラフィックパターンに基づいたシミュレーションや複数の経路選択アルゴリズムを組み合わせたハイブリッドアプローチの検討などが挙げられる。

6 参考文献

1. 情報通信工学専門実験 A 実験テキスト