

1 はじめに

移動体通信や無線通信技術の発展と普及に伴い、様々な無線アクセスネットワークを介してインターネットへ接続できる環境が提供されている。また、高速で高品質な通信インフラをあらゆる場所に整備することは困難であり、無線ネットワークを介したインターネット接続が急速に普及している。しかし、無線通信は干渉等の影響を受けやすいため、高パケットロス率やリンク状態の時間変動が大きい劣通信環境においても、信頼性のある通信を実現する必要がある。ネットワーク資源を効率的に利用し、かつ、転送性能を向上させる技術として、トラヒックエンジニアリング (TE) がある。一般的な TE では、トラヒック発生時に、宛先までに複数存在する経路のうち、その時の利用状況に応じて適切な経路を選択する。すなわち、空間的な経路決定を行う。一方劣通信環境では、リンク状態の時間変動が大きいいため、空間的な方法に加え、リンク状態の回復を待機するような時間的な資源の利活用も必要となる。

先行研究において、断続的な通信環境を想定した待機時間を有する時間的・空間的トラヒックエンジニアリングが提案されている。提案手法では、宛先までのフロー転送遅延の予測値をパス選択時のメトリックとしており、メトリック算出時に必要な情報の調査、および、手法適用時の有効性が示されている。しかし、提案手法の有効性は、パスの接続、切断状態がある特定の状態でのみで評価されており、性能の詳細な調査が必要である。また、パス選択指標の算出において必要な情報が多く、計算式も煩雑である。そこで本研究では、既に提案されているパス選択手法についてパス状態やトラヒック負荷による影響を詳細に調査し、実ネットワーク環境に適用が容易な TE 手法を提案し、その評価を行う。

2 MADT (Minimizing Average Delay Time)

2.1 パス選択方式

図 1 のように、送信元から受信先までの経路として断続的な接続性を有する広帯域パス、常時接続状態である狭帯域パスの 2 つのパスが存在する状況におけるパス選択問題を取り扱う。先行研究で提案された MADT 手法では、フローがネットワークの入口ルータに到着する度にパス状態や到着フローに関する情報に基づくパス選択メトリック (到着フローの推定転送遅延) を各転送パスについて算出し、最小となるパスを選択する。

パス i のメトリック T_i は次式で定義される。

$$T_i = t_{off(i)} + \frac{M_i}{\alpha} \left(1 + \frac{N_i}{c_i} \right)$$

M_i はパス i におけるフローの平均転送時間、 N_i はパス i のバッファに待機中のフロー数、 c_i はパスの最大収容フロー数、 $t_{off(i)}$ はパス i における平均切断時間を表し、広帯域パスの場合は $t_{off(i)} = t_{off}$ [s]、狭帯域パスの場合は $t_{off(i)} = 0$ となる。また、 α はパスの接続率を表し、広帯域パスの平均接続時間を t_{on} [s]、平均切断時間を t_{off} [s] とすると、広帯域パスの場合は $\alpha = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$ 、狭帯域パスの場合は $\alpha = 1$ である。

2.2 性能調査

MADT 手法の性能について、パス状態の接続・切断時間の割合、フロー到着率による影響を示す。シミュレーションモデルは図 1 のネットワークモデルを用いる。転送中フロー数が最大収容フロー数より多い場合はバッファで待機され、ロスは発生しないものとする。広帯域パスは IEEE802.11g の規格帯域より 54 [Mbps]、狭帯域パスは W-CDMA の規格帯域より 3.1 [Mbps] とする。広帯域パスの接続時間、切断時間はそれぞれ平均 t_{on} 、 t_{off} [s] の指数分布に従い、 $t_{on} = 25$ [s]、 t_{off} は t_{on} に対する比率に基づき変化させる。性能指標には、各フローの到着から転送終了までの転送遅延の平均値を用いる。シミュレーション結果を図 2、3 に示す。図の横軸はルータの平均入力負荷 ρ を表す。図 2 の平均転送遅延より、パス切断時間の割合が増加するほど、 ρ の増加により平均遅延時間が急激に増加する。ここで、接続・切断状態と広帯域パスの選択率について調査する。図 3 に、到着フローの転送経路に広帯域パスが選択される割合を示す。図より、 ρ が小さいとき、広帯域パス選択率は ρ に対して非線形に増加している。しかし、 ρ が大きくなると一定値に収束しており、この一定値は両パスの帯域比に関する広帯域パスの実効帯域の割合と等しい。なお、一定値になるときの ρ は $\rho = \alpha$ であった。

3 実効帯域比率に基づくパス選択

2.2 節の結果を踏まえ、実効帯域比に基づいて到着フローの転送パスを選択する手法を新たに提案する。提案手法では、ルータに到着するフローの転送パスは次のように決定される。

1. フロー到着時に広帯域パスが切断状態で、 $\rho < \alpha$ の場合： $B' = \alpha B_w \times \rho^{(1-\alpha)}$ とし、 $P_w = B' / (B' + B_n)$ の確率で広帯



図 1: ネットワークモデル

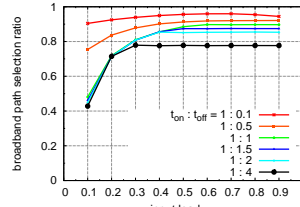


図 3: MADT での広帯域パス選択率

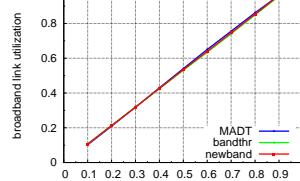


図 5: 広帯域リンク利用率の比較

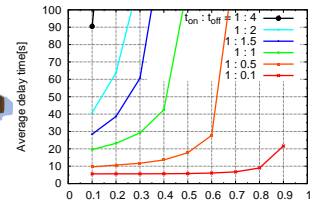


図 2: MADT での平均転送遅延

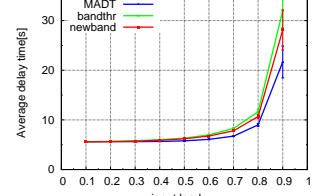


図 4: 平均転送遅延性能の比較

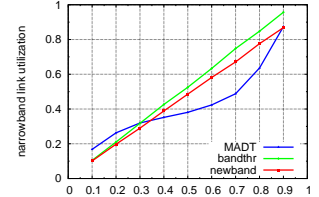


図 6: 狭帯域リンク利用率の比較

域パスを選択し、確率 $(1 - P_w)$ で狭帯域パスを選択。

2. フロー到着時に広帯域パスが切断状態で、 $\rho \geq \alpha$ の場合：実効帯域比率に従いパスを選択。

3. 1, 2 以外の場合：物理帯域比率に従いパスを選択。

ここで、 B_w は広帯域パスの帯域幅、 B_n は狭帯域パスの帯域幅を表す。この手法では、MADT 手法よりも必要な情報が少なく、複雑なメトリックの導出が不要で実装が容易である。

4 シミュレーション結果・考察

図 4 に、 $t_{on} = 25$ [s]、 $t_{off} = 3.25$ [s] である場合の各手法における平均転送遅延を示す。図の bandthr はフローを実効帯域比で振り分けた場合、newband は提案手法の結果である。図 4 より、負荷分散が可能な帯域比率割り当てよりも、利己的ルーティングである MADT 手法の方が転送性能が良いことがわかる。また、提案手法の転送性能は、帯域比率で振り分ける場合より高く、MADT の性能に近づいていることがわかる。提案手法は帯域比率割り当てとは違い、 ρ に応じて MADT と類似したパス選択を行っているため、転送性能が帯域比率割り当てよりも改善された。

次に、図 5、6 に各手法における広帯域・狭帯域リンク利用率を示す。ここで、リンク利用率は最初にリンクを利用したフローの到着時間から最後にリンクを利用したフローの転送終了時間までに、リンクを利用した合計時間の割合とする。帯域比率割り当てでは、各パスの帯域の比率でパスを選択するため、それぞれのパスを均等に利用できる。MADT の場合は、 ρ が小さい場合は広帯域リンクの利用率が高く、狭帯域リンクの利用率が低くなっていることがわかる。MADT はいわゆる利己的ルーティングであり、フロー自身の転送性能をより良くすることを最優先するため、ネットワーク資源の有効利用については考慮しない。よって、MADT ではリンク利用率に偏りが生じており、ネットワーク資源を有効に活用できていないことがわかる。一方提案手法の場合は、MADT よりも広帯域・狭帯域のリンク利用率のバランスが良いことがわかる。以上より、簡単な TE 手法で、MADT に近い転送性能を達成することが可能で、ネットワーク資源を効率良く利用することも可能であることが示された。また、入力負荷である ρ もパス選択の情報として有用であることが示された。

5 まとめ

本研究では、状態が異なる複数のアクセスネットワークが利用可能な環境において、先行研究で提案されたパス選択手法の性能、および、パス選択に用いられる情報を調査し、より簡単な TE 手法を提案した。シミュレーション結果より、MADT におけるパス選択率の傾向から、パス選択で用いる情報として、長期的な入力負荷 ρ が有用であることを示した。また、簡単な TE 手法でも、MADT 手法に近い転送性能を達成することが可能であり、リンク利用率に関しても単純な帯域比率に基づくパス選択とほぼ同等で、負荷を分散しつつ転送性能を向上している様子があった。