

学籍番号	12674034	氏名	福田 成美
論文題目	TCP フローを対象とした空間的省電力 TE に関する研究		

## 1 はじめに

近年、ブロードバンドサービスの発展・普及に伴いネットワーク機器が増設され、消費電力量が増加傾向にあるためネットワーク全体の省電力化が急務となっている。その場合、各ノードからのトラフィック量に応じて特定のルータ/リンクに集約/分散する経路制御が重要となる。

省電力経路制御として3層レベルでは中継ノード(ルータ/スイッチ)が自律的に行うが、4層レベルでは、エンドノード間で制御する必要がある。送受信ノード間に複数経路が存在するとき、通常利用される最短経路の利用率が低く、他経路に収容可能であれば迂回して省電力化を図ることができるため、UDP フローを対象とした集約/分散アルゴリズムが提案されている。しかし、フロー制御や輻輳制御機構を有する TCP を対象とした場合、経路切り替えにより自身や他のフローの転送性能に影響する可能性がある。そこで、代替経路の状況を考慮した経路選択の条件を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、TCP フローを対象とし、経路選択指標に影響を及ぼすパラメータを明らかにし、ネットワークの状況に応じて、より柔軟に経路の選択を可能とする省電力経路制御 (TE) 手法についての検討する。

## 2 TCP フローを対象とした空間的省電力 TE

図1のようなネットワークモデルを想定する。TCP フローを対象とし複数経路から経路選択をする場合、コネクション確立時に経路切り替えの判断をする必要がある。通常 TCP コネクションの設定は最短経路を利用するが、送受信ノード間に他にも通信可能な経路が存在する場合を想定し、この最短経路を通常経路、その他の経路を代替経路と定義する。

## 3 シミュレーションモデル

NS-2(Network-Simulation Ver.2)によりシミュレーションを行う。図2のように通常経路(S-D)が1本、代替経路(S-R-D)が1本存在するトポロジを想定し、代替経路中のR-D間に背景トラフィックが転送されているものとする。ここで、S-R、R-D、S-D間の各リンクの帯域幅は100[Mbps]、リンク遅延は10[msec]とする。

送信ノードからは一定間隔でファイルを転送し、各々の転送開始時に代替経路の状況に応じてTCP(Tahoe)コネクションを確立する。なお代替経路の背景トラフィックは以下を想定し、調査項目を示す。

- UDP  
転送レートの変更により、代替経路の利用率と主フローの転送性能の関係を調査する。
- TCP  
あるサイズのファイルを周期的に転送する複数のTCPフローが多重されていることを想定し、フロー数やファイルサイズが主フローの経路決定に及ぼす影響を調査する。

## 4 評価指標

主フローにおいて送信元がファイルを転送開始した時刻からそのファイルの最後のパケットのackを受信する時刻までの時間を転送終了時間と定義する。

ここで背景トラフィックが存在しない時に代替経路を利用して主フローを転送する場合の転送終了時間を基準とし、その1.1倍を満たす代替経路の利用率を許容利用率と定義する。

## 5 結果・考察

背景トラフィックがUDPの場合は転送レートを、TCPの場合は収容可能なTCPフロー数からR-D間での平均リンク利用率に換算し、許容利用率と主フローの送信ファイルサイズとの関係を図3に示す。

背景トラフィックがUDPの場合、送信ファイルサイズによらず許容利用率0.93となる。それに対しTCPの場合は主フローのファイルサイズや背景トラフィックのファ

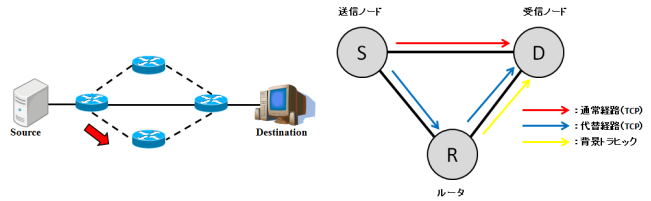


図1: ネットワークモデル

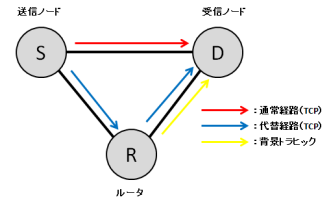


図2: シミュレーショントポロジ

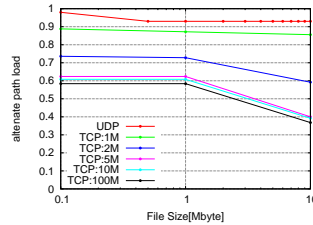


図3: 許容利用率

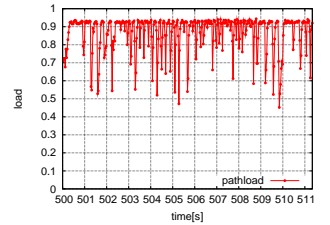


図4: 代替経路の利用率の推移

イルサイズによって許容利用率が異なることがわかる。背景トラフィックのファイルサイズが1[Mbyte]の時(図中の”TCP:1M”)、主フローの送信ファイルサイズによる許容利用率の変化は小さく、UDP とほぼ変わらないが、2[Mbyte]以上の場合、主フローのファイルサイズが大きくなると許容利用率が低くなり、特に主フローのファイルサイズが10[Mbyte]においては大きく減少する。これは、背景トラフィックのファイルサイズが大きくなると、背景トラフィックを構成するTCPフロー間の競合により、各々のウィンドウサイズの変動が同期して大きく変化するため、主フローのウィンドウサイズに影響を与えることが原因と考えられる。

以上より、背景トラフィックがTCPの場合においては、代替経路の平均トラフィック量だけでなく、主フローの送信ファイルサイズや迂回経路の送信ファイルサイズを考慮する必要がある。

## 6 連続セグメント転送時毎の経路選択の検討

TCP コネクション確立時の代替経路の許容率を示したが、その時に許容値を超えていても、その後時間的に変動していると考えられる。そこで、背景トラフィックがTCPで1[Mbyte]/主フローが10[Mbyte]のファイル転送中の代替経路の利用率の時間推移を図4に示す。この場合、図3から経路選択の指標である許容利用率は0.856であるが、ファイル転送中における代替経路の利用率がそれ以下となる割合(迂回可能率)は約26%存在することがわかる。このことから、コネクション確立後において迂回可能な時間帯が存在することがわかる。そのため、経路選択のタイミングをコネクション確立時だけでなく、ファイル転送中の連続セグメント転送時毎に設定することで、通常経路の省電力化を向上できると考えられる。そこで、本来スルーットや耐障害性向上を目的とし、エンドノード間に複数経路通信を行うことを可能とする Multipath TCP(MPTCP)を利用し、事前に複数コネクションを確立しておくことで、連続セグメント転送時毎に複数の経路から代替経路の利用状況に応じて選択をすることが可能となり、省電力化に有効だと考えられる。

## 7 まとめ

空間的省電力 TE における TCP フロー迂回時の転送性能評価により、TCP フローにおける経路選択指標を検討した。この結果、代替経路の利用率に加えて主フローの送信ファイルサイズや代替経路のトラフィックの種類(UDP/TCP)をもとに経路切り替えを行う必要があることがわかった。

また、代替経路の利用率には変動があり、迂回可能率が約26%存在することがわかった。そのため、事前に複数コネクションを確立しておくことで、連続セグメント転送時毎の経路選択を可能とし、通常経路の省電力化向上に有効であることを示した。