

多対多通信を支援するオーバレイネットワーク技術

電子情報学専攻 川田 雅人

1 まえがき

広帯域かつ遍在する接続環境を取得したユーザは、さらに SIP やコンテキストウェア支援による拡張性の高いブストラップ手段を利用することで、多対多かつ多様なメディア・端末を通じた双方向コミュニケーションを行うことが予想される。本稿では、コミュニケーションのセッションを構成するホスト同士で論理的なネットワーク構築、経路制御、レート制御などを行う分散協調的ミドルウェアとして、オーバレイネットワーク技術に関して、ホストの帯域・処理能力を取得し、それらの多様性に適応する機能を持つ CORTH (Collaborative Overlay Routing and Transmission scheme considering Heterogeneity) を示す。

2 アプローチ

CORTH では、送信可能なデータレートを伝送制御機構から、処理データレートを上位アプリケーションから取得し、これらの処理レートをホスト能力と定義する。オーバレイネットワークの構築、およびルーティングプロトコルにおいて、この能力値に基づいた役割の重み付けを与えることが共通したアプローチとなっている。

CORTH の動作過程を図 1 を用いて説明する。CORTH では多対多環境で効率的なネットワーク管理をするために、まず端末同士を双方向接続する共通のオーバレイネットワークを構築する (図 1 下中) 。ここで、各端末は端末間の遅延・帯域を測定して自律的に接続リンクを決定し、さらに各端末の接続リンク数と端末能力を対応させることでオーバレイネットワーク上の転送役の重み付けを行う。次に、構築されたオーバレイネットワーク上で各ソースに関する経路を決定し、データを転送する (図 1 上) 。経路は、遅延を抑えつつ端末の特性を考慮した決定を行う。そして最後に、各リンクが輻輳制御を行ってリンク帯域を決定するとともに、そのリンクを通過する複数のソース同士で帯域の資源割当を行い、アプリケーション要求に従った通信品質割当

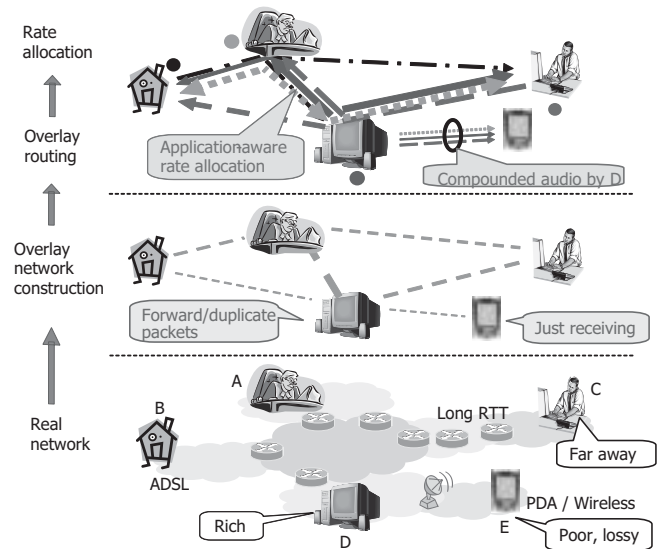


図 1: 動作概要

を実現する。次章ではこの 3 つの各手法について説明する。

3 アルゴリズム

3.1 オーバレイネットワーク構築

各ホストは、まず SIP やリスト交換などのブストラップを行い、参加ホストの IP アドレスリストを作成する。各ホストは他のホストとの遅延を測定し、さらに遅延の小さいいくつかのホストに対してテストデータを伝送し、使用可能帯域を取得する。これらの情報は定期的に監視・更新され、これらのメトリックとホストの伝送能力を元に、伝送能力に比例した接続本数のオーバレイリンクを確立する。これにより、ホストの伝送能力と使用可能帯域が許す限りにおいては中継ホストを経由せずに直接送るため、遅延の小さい伝送網が作られる (図 1 中段) 。

3.2 オーバレイルーティング制御

各ソースホストはまず、経路構築メッセージをオーバレイネットワーク上にブロードキャストする。データを中継するホストは、ソースから下流リンクまで遅延和と自身のホスト能力をペイロードに書き込み

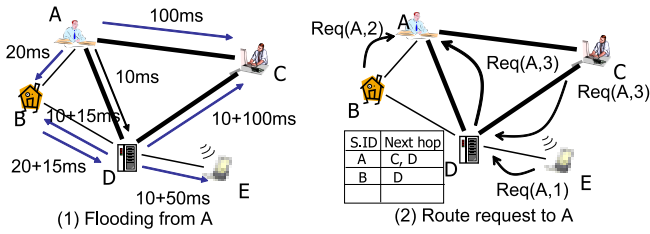


図 2: 経路メッセージプロトコル

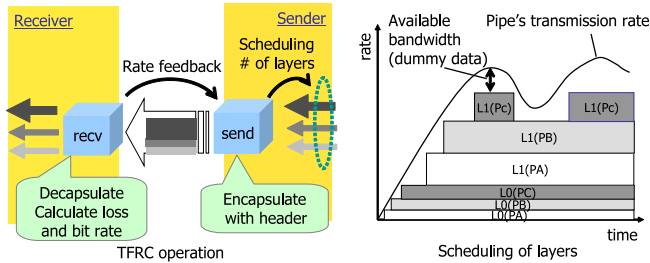


図 3: レート制御

んで下流リンクに転送する。図 2 左に、ホスト A のブロードキャスト例を示す。

ホストが当該データを受信する場合、遅延と映像品質（伝送レート）の双方を重視し、ある遅延の条件内で伝送能力の高い、あるいは特別機能が存在する上流ホストを選択して ACK を送信する。この経路決定ポリシーを本稿では Widest Shortest Path Tree (WSPT) と呼ぶ。図 2 右に、WSPT に従ってホスト A に ACK が届く例を示している。ACK を受け取ったホストは ACK をさらに上流に転送し、当該ソースに関する経路表を作成する。

3.3 オーバレイリンクのレート制御

各オーバレイリンクの伝送レートは、TCP に親和性の高い UDP 上のレート制御を実現する TFRC を用いている。図 3 左に TFRC の送信側・受信側の動作イメージを示す。送信側では時刻やシーケンス番号などを持つヘッダでビデオデータをカプセル化して送信し、受信側ではヘッダを解析してパケットロスの検出とその時刻を記録し、RTT とパケットロス率から受信レートを算出する。算出されたレート値は制御チャネルを通じて送信側にフィードバックされ、送信側ではパケットの送出 (sendto) 間隔を制御して算出した伝送レートを実現している。

オーバレイリンクの伝送レートは、通過する一つ以上のフローの伝送量を調整することで達成される。本手法では階層符号化による階層間・フロー間の優先度を基にスケジューリングを行う。図 3 右に伝送

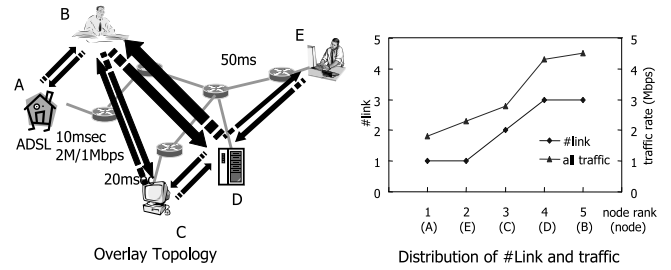


図 4: 実験結果（トポロジーと各ノードの伝送量分布）

レートの時間変化とスケジューリングの様子を示す。最低品質制御として全てのフローの基本階層（サムネイル + 音声）を保証したあと、空き帯域を優先度の高い拡張階層から埋めていく。伝送レートの変動に応じてその伝送量を変化させている。

4 実装評価

本手法を、100kbps - 1Mbps の階層符号化ビデオを実際に伝送する多対多ビデオチャットに実装した。実験は図 2 と同様の構成を、研究室の生活網と dummy-net を介した実験網の上で、狭帯域（下流 2Mbps / 上流 1Mbps, ADSL 想定）ホスト、高遅延ホストを含む 5 台のホストを用いることで擬似的に実現した。

図 4 左に実験ネットワークで構成されたオーバレイトポロジー結果、および図 4 右に各ホストにおけるオーバレイリンク数および伝送データ量の分布を示す。これより、図中のホスト B, D が遅延・処理能力の観点から、トポロジーおよびデータの転送役で中心となる役割を果たしていることがわかる。また、狭帯域であるホスト A の転送をホスト B が担うことにより、ホスト A の送信データが他の受信ホストに高いレートで伝達されていることを検証しており、データ転送の支援によるアプリケーション品質の向上が行われているといえる。

5 むすび

本稿では、ビデオコミュニケーションの多様な利用形態とホストの環境に対し、複数のホストやビデオフローが分散協調的に適応するためのホスト構成と連携制御アルゴリズムを示した。今回は特に多対多コミュニケーション対応とホストの環境異種性に関して実装評価を行い、オーバレイルーティングと各リンクの輻輳制御およびスケジューリングによって帯域とユーザの嗜好に動的に対応することにより、コミュニケーション品質を高められることを示した。