

【SCOPE研究発表会】
中小規模コミュニティ向けインフラ構築のための
無線アドホックネットワーク実用化基盤技術の
研究開発
(平成22～23年度)

2012年7月13日

(株) ネットワーク応用技術研究所

(学) 関西大学

(国) 九州工業大学

(財) 九州ヒューマンメディア創造センター

- 背景、目的、課題
 - アドホックネットワーク研究開発の必要性
- 送信制御機構を有するTCPプロキシ技術の研究開発
 - 適応型レート制御、強制フロー制御
 - 実機実験結果に基づくシミュレーション評価による課題抽出
- MACフレーム送信優先度制御技術の研究開発
 - Prioritized Transmission Scheme (PTS)
 - Autonomous Dynamic Transmission Scheduling (ADTS)
- 北九州ユビキタスマールにおける実証実験
 - 高性能無線アドホックネットワーク基盤ソフトウェアの開発
 - アドホックネットワークを用いたアプリケーション実験
- まとめ
 - 対外成果、人材育成寄与、等

研究開発実施期間

- 平成22年度～平成23年度（平成22年8月～平成24年3月の約1年半）

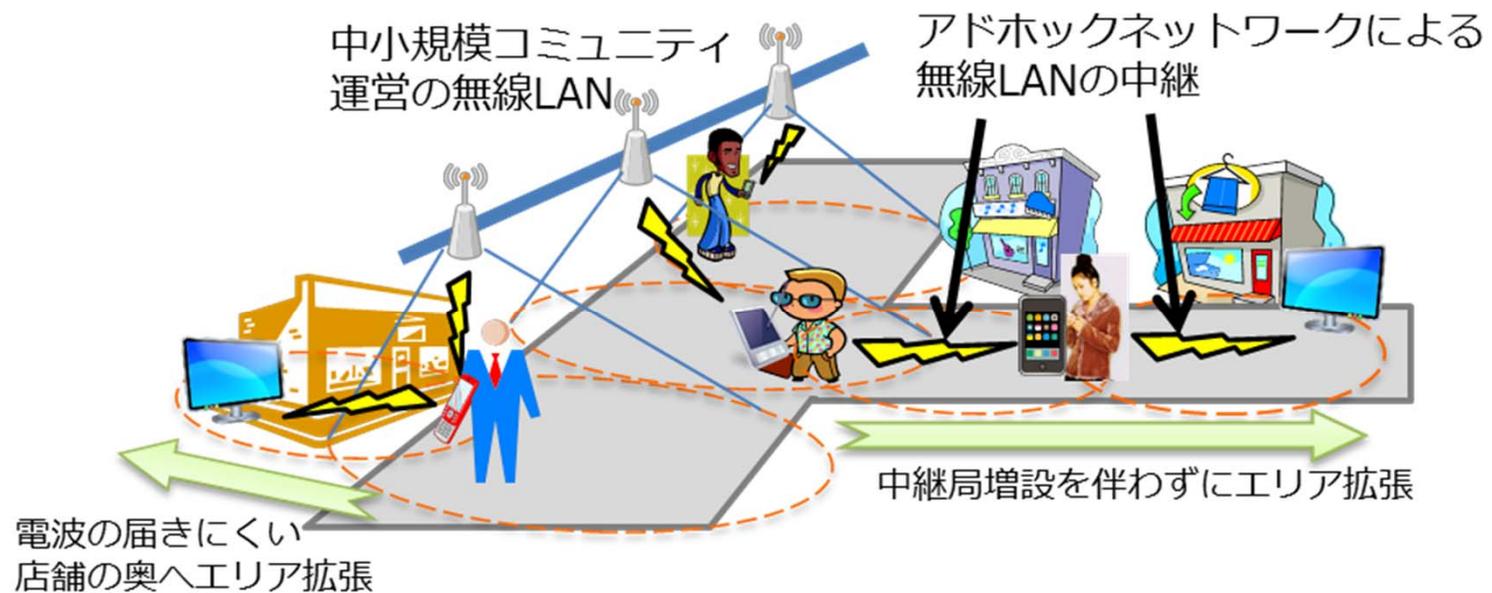
研究代表者

- 高木 宏,
 - (株)ネットワーク応用技術研究所 代表取締役社長

研究分担者

- 山本 幹,
 - (学)関西大学 システム理工学部 教授
- 池永 全志,
 - (国)九州工業大学 大学院工学研究院 教授
- 佐藤 時子,
 - (財)九州ヒューマンメディア創造センター 地域ICTプロジェクト推進部 地域ICTプロジェクト推進課長
- 永田 晃,
 - (株)ネットワーク応用技術研究所 先端ネットワーク研究部 主任研究員

中小規模コミュニティが安価に無線ネットワーク接続インフラを構築・運営する手法として、アドホックネットワーク技術を用いて無線LANの通信エリアを面的に拡張する手法に着目する。アドホックネットワークにおいて実用的な転送性能を達成するために必要な基盤技術を研究開発し、実証実験による検証を通して、実用性の高いネットワークインフラ構築技術の確立を目指す。



■ アドホックネットワークに着目した理由

- 中小規模の地域コミュニティにより構築・運用される公衆無線LANの増加
 - ✓ 安価な導入・運用コスト（=多額のコストをかけられない）、広い適用性
- 無線LANの通信エリアの問題
 - ✓ 無線LANは、その技術の特性上、対象エリアを隅々までカバーすることは難しい
 - ✓ カバーエリア拡張の工夫は色々あるが、基地局の追加以外に手段がないのが現状
 - ✓ しかし、商用展開されているものでなければ網増強にはコスト面のハードルあり
- 適応的・動的にエリアをカバーする補完的技術の導入が不可欠
⇒ アドホックネットワーク技術の活用

■ 課題設定

- アドホックネットワークが実用化されるために解決されるべき課題として転送性能、ルーチング、セキュリティ等々、様々な問題がある。
- 本研究開発課題では転送性能の改善を図るために必要な技術を開発することを目的とした。

- 関西大学
 - アドホックネットワークにおけるTCPトラヒックの性能改善技術の研究開発
 - 北九州ユビキタスマールにおける実証実験

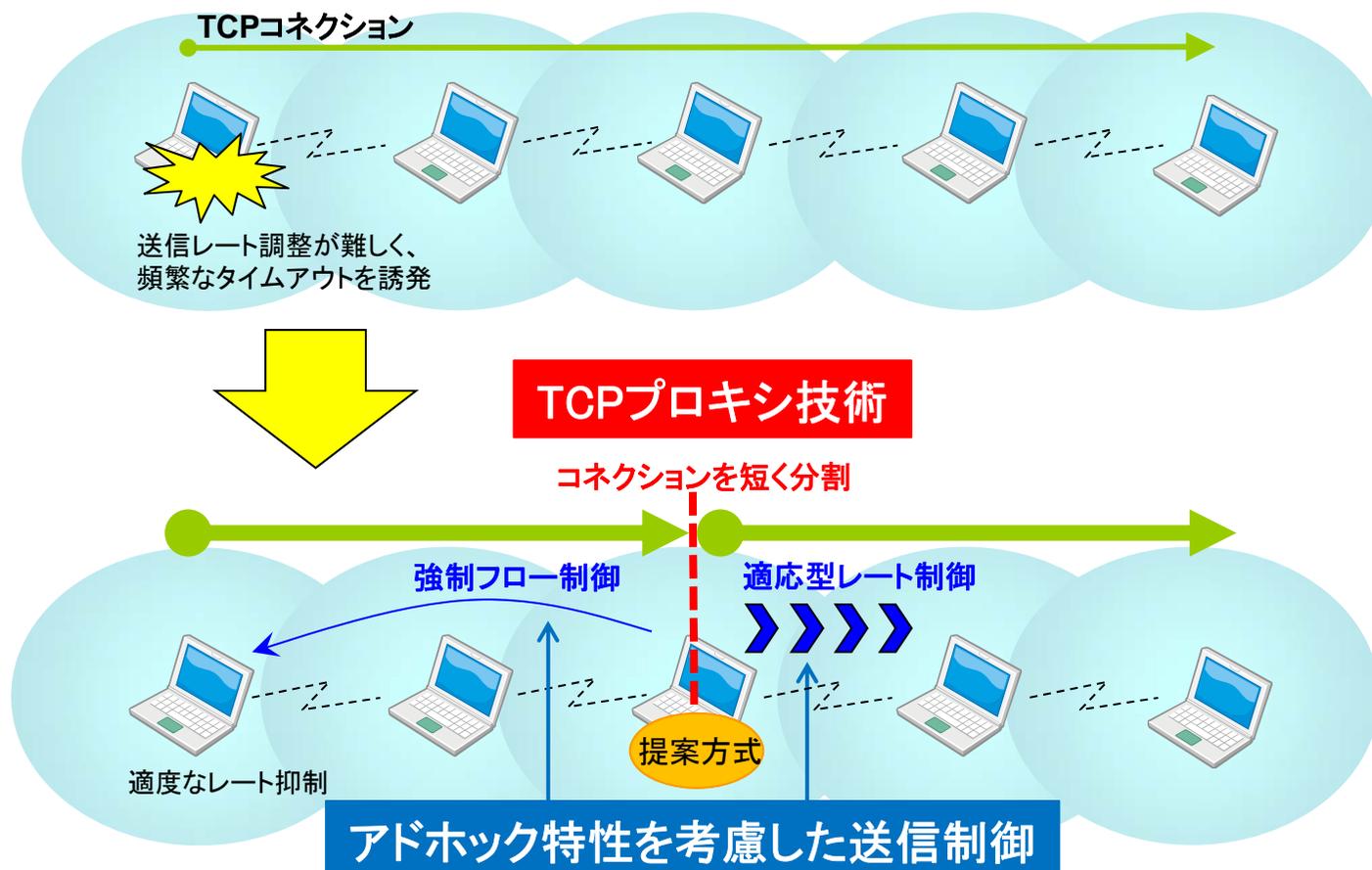
- 九州工業大学
 - アドホックネットワークにおけるMACフレーム送信性能改善技術の研究開発
 - 北九州ユビキタスマールにおける実証実験

- ネットワーク応用技術研究所
 - 高性能無線アドホックネットワーク基盤ソフトウェアのプロトタイプ実装
 - 北九州ユビキタスマールにおける実証実験

- 九州ヒューマンメディア創造センター
 - 北九州ユビキタスマールの運用観点からの要件抽出および実験の調整
 - 北九州ユビキタスマールにおける実証実験

送信制御機構を有するTCPプロキシ技術

TCPの送信レートを敢えて一定以上に抑制する機構を盛り込んだTCPプロキシ技術の適用により、アドホックネットワークにおける隣接ホストの無線チャネル連続キャプチャ問題による性能低下を回避し、よりスムーズなTCP通信が実現可能。



● 適応型レート制御

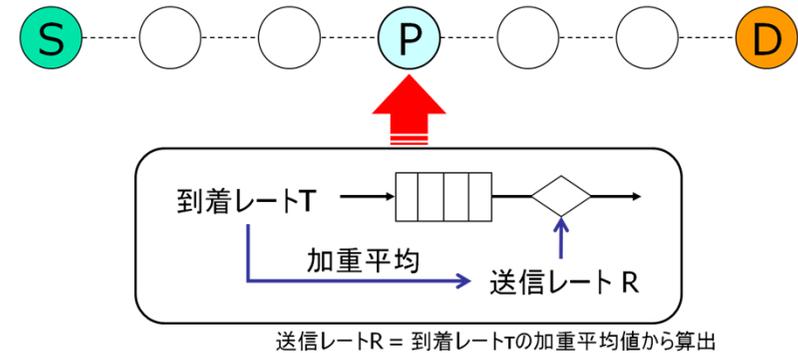
プロキシホストでのレート制御



プロキシホストにおけるバースト送信の抑制

理論値 $S_n = 0.875 \cdot S_{n-1} + 0.125 \cdot R_n$

P: TCPプロキシホスト
S: 送信元ホスト
D: 宛先ホスト

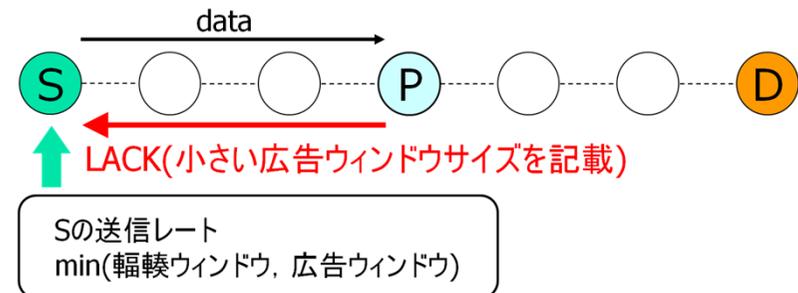


● 強制フロー制御

広告ウィンドウサイズを小さな値に設定



後段サブセッションにおけるバースト送信の抑制

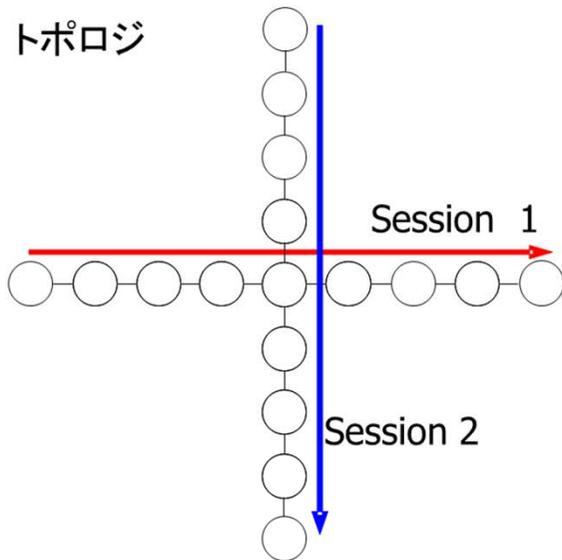


前段、後段サブセッションの無線チャネルキャプチャを抑制することでスループット向上(性能改善)

SCOPE研究発表会(平成23年度終了課題)

強制フロー制御の上限ウィンドウサイズ検証

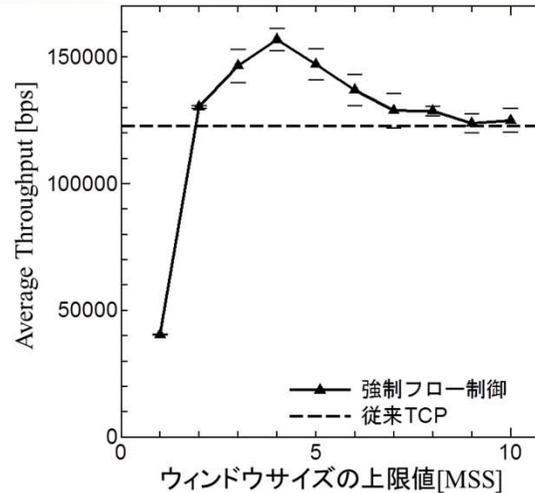
強制フロー制御で前段セッションのウィンドウサイズを抑制する際の適切なウィンドウサイズを調べるため、公平性とスループットの両立の観点でTCPウィンドウサイズ特性をシミュレーション評価。適切なウィンドウサイズとして2を得た。



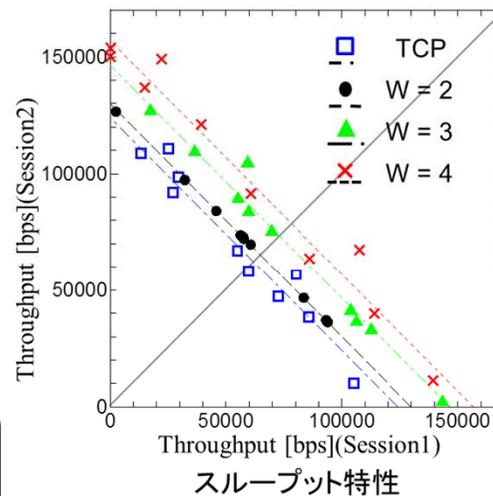
評価ポイント

- 平均スループット
- スループット特性
- Fairness Index

スループットと公平性の評価



平均スループット



Window Size = 4の時
スループットが最大

過度の抑制



ネットワーク内の
トラフィック強度の劣化



スループット劣化

Fairness Index

TCP	WS = 2	WS = 3	WS = 4
0.826892	0.879482	0.821228	0.732603

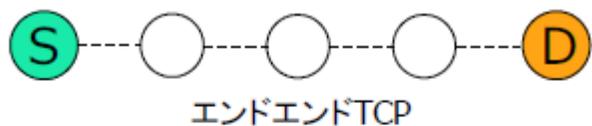
Window Size = 4

- スループット最大
- 公平性劣化

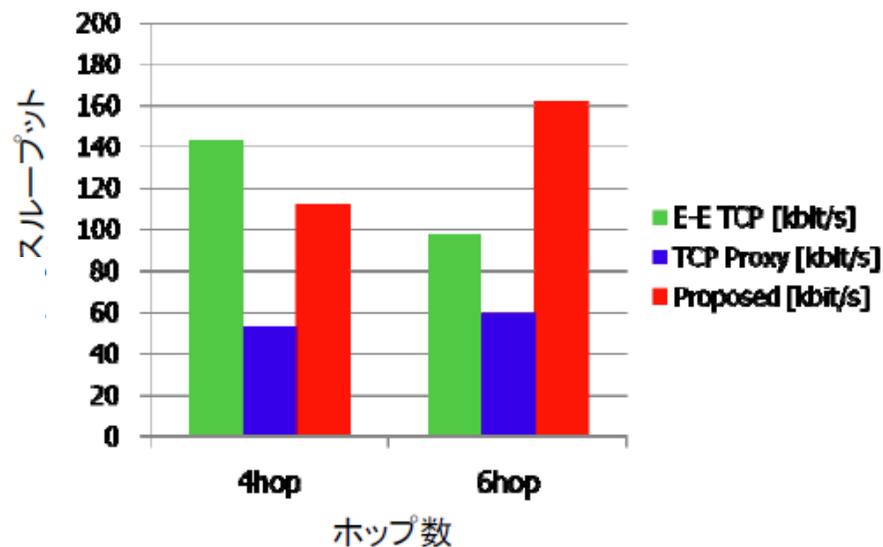
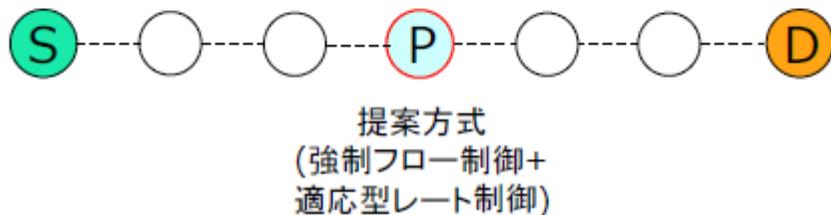
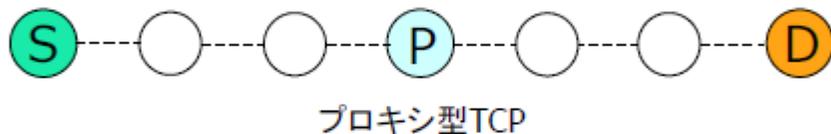
Window Size = 2

- スループット向上
- 公平性向上

●4hop



●6hop



- 実環境における課題抽出のため、初年度に北九州ユビキタスマールにて簡単な実機実験を実施。魚町商店街のアーケード内にて、試験実装したプロトタイプを導入したノートPCでアドホックネットワークを構成してスループット測定実験を行った。
- その結果、シミュレーションでは有効な性能を示していた提案方式が、実環境ではその効果を満足に発揮できない状況があることが判明した。
 - 想定以上にバーストロスが多発、適応型レート制御により過度に送出制限が働き、期待した性能が得られない
 - ⇒ シミュレーション評価により得られた課題を詳細に解析

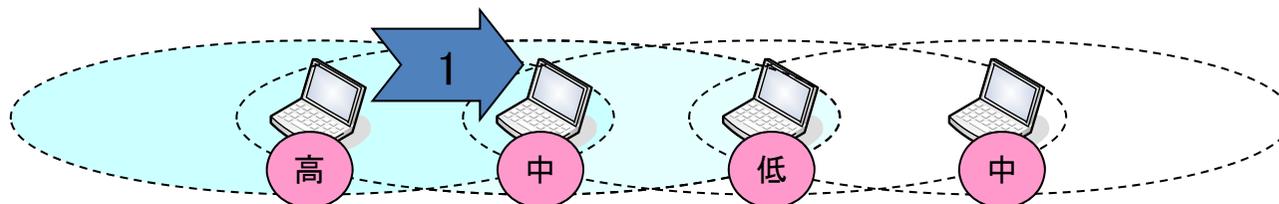


SCOPE研究発表会 (平成23年度終了課題)

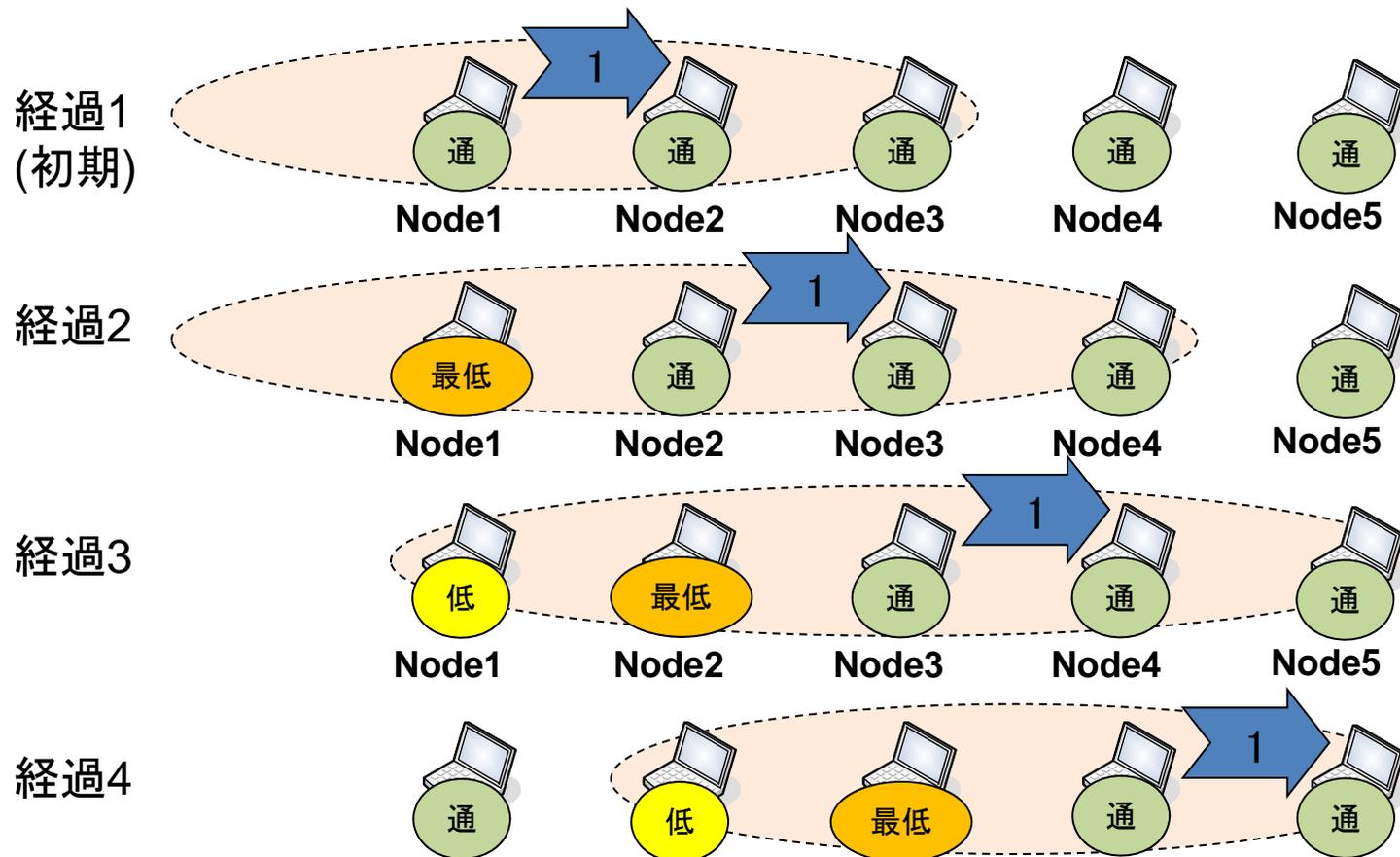
点線上の数値はホスト間の実距離 (google map 画面表示上の距離から推定)

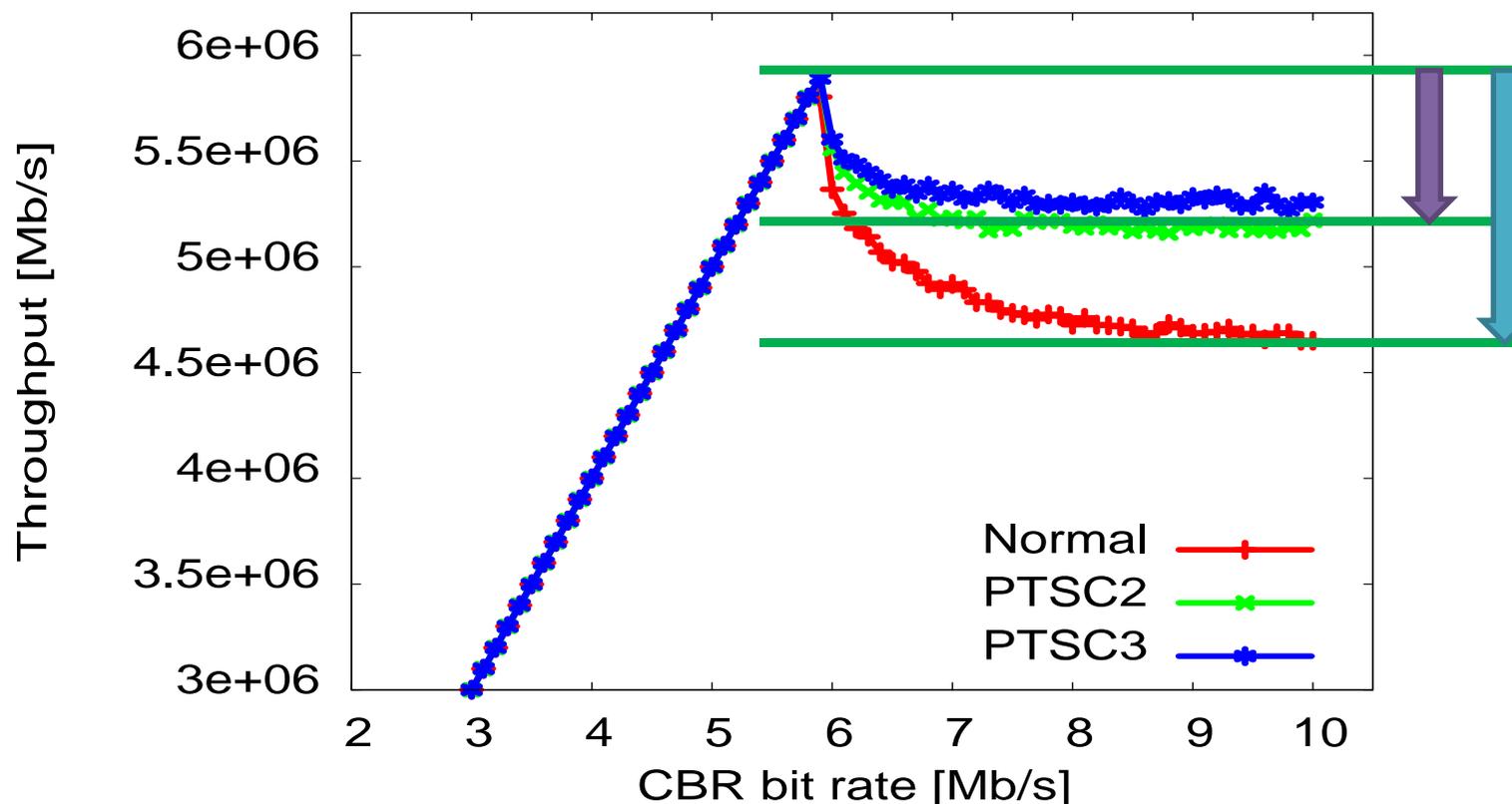
MACフレーム送信優先度制御技術

- 各ノードの**送信優先度の設定**によるフレーム送信制御
 - ノード毎にフレーム送信の優先度を設定
- 転送処理により優先度を変更
 - フレーム送信成功に伴い優先度の低下
 - 近隣ノードが転送に成功すると優先度は上昇
 - ◆ ノードは常に近隣ノードの挙動を監視
 - PTS having 2 classes (PTSC2)
 - ◆ ORDINARY, LOWEST
 - PTS having 3 classes (PTSC3)
 - ◆ ORDINARY, LOWER, LOWEST
- Inter Frame Space 時間を変更することで優先度を定義



- 初期状態
 - 全ノードが高優先クラス
- 優先度上昇のためのフレーム検出数: 1 回

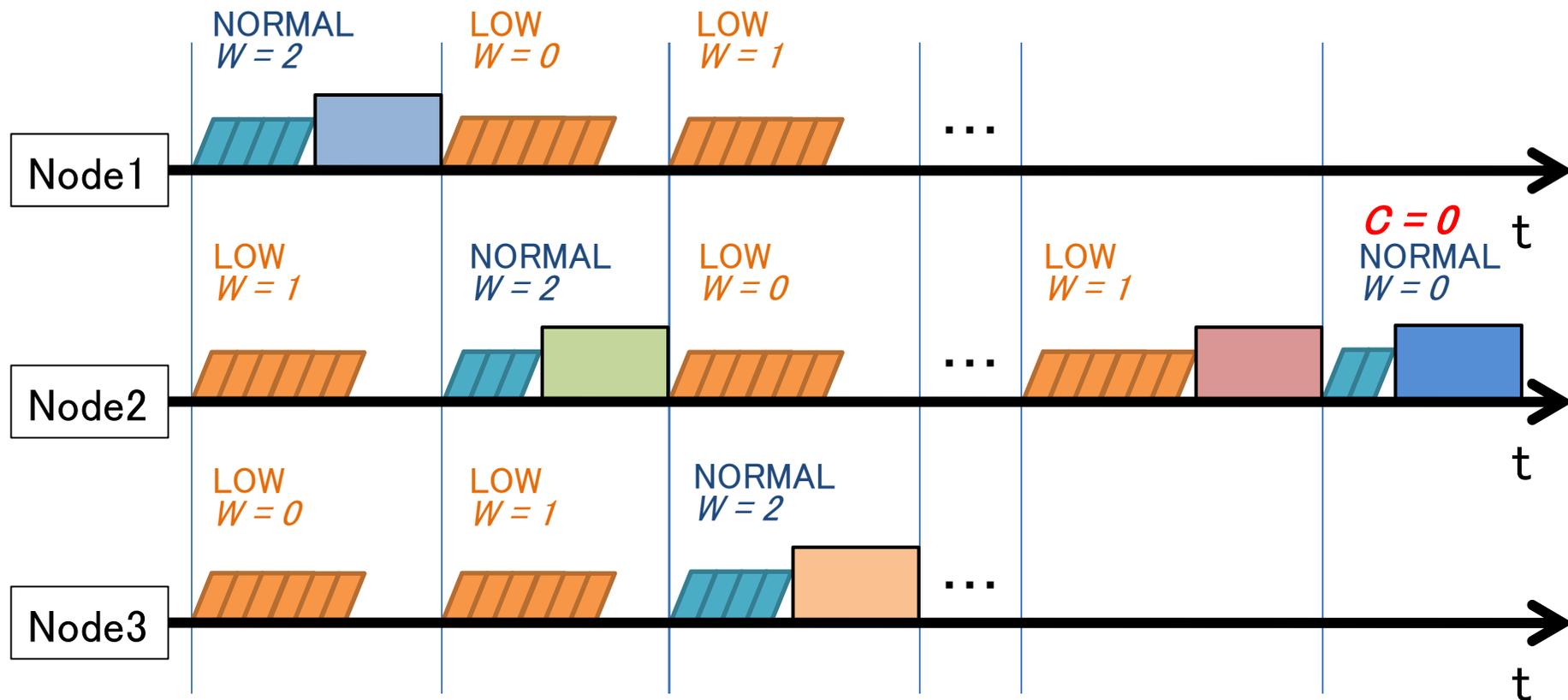




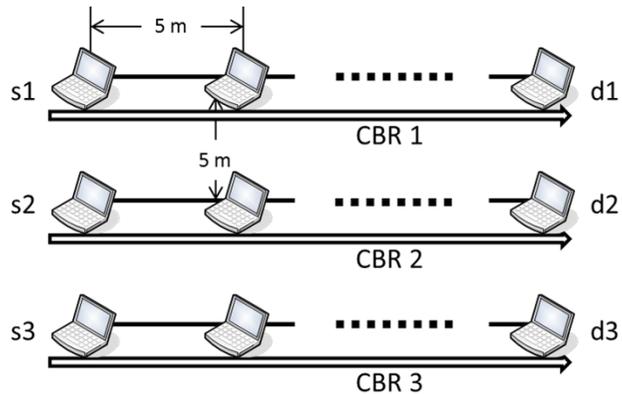
結果2: 5 ホップにおけるスループット(拡大)

- チャンネル利用率が100 %に到達
 - 干渉が発生するため性能が低下
 - PTSC2, PTSC3 共にNormalと比べて**低下の割合が減少**

- 3ノードの場合におけるフレーム送信例
- 全ノードにおいて初期アドレスペア計測数 $C = 2$ とする

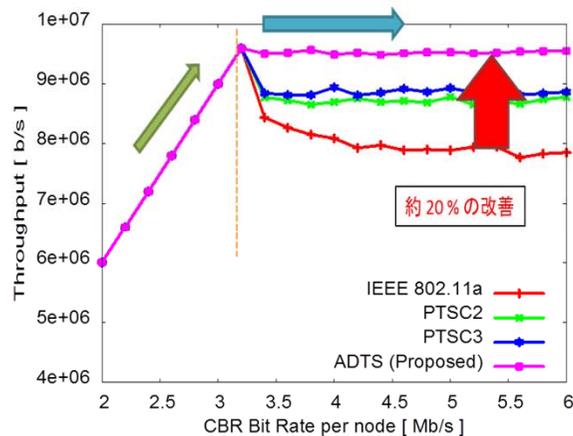


W : 他ノードのフレーム送信数

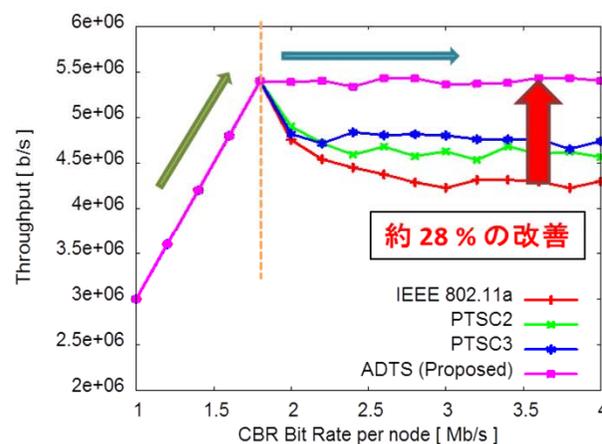


シミュレーションモデル

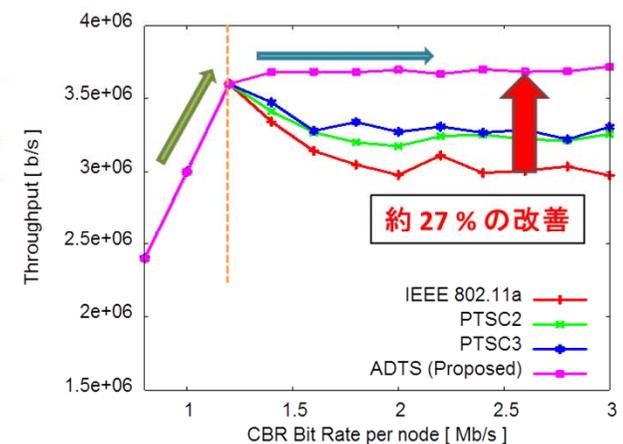
- 最大スループットに達した後も最大値を維持
- ADTS はIEEE 802.11a と比べ約 20-28% 改善
- PTS2, PTS3 に比べ約 10% 改善



スループット特性(3ホップ)



スループット特性(5ホップ)

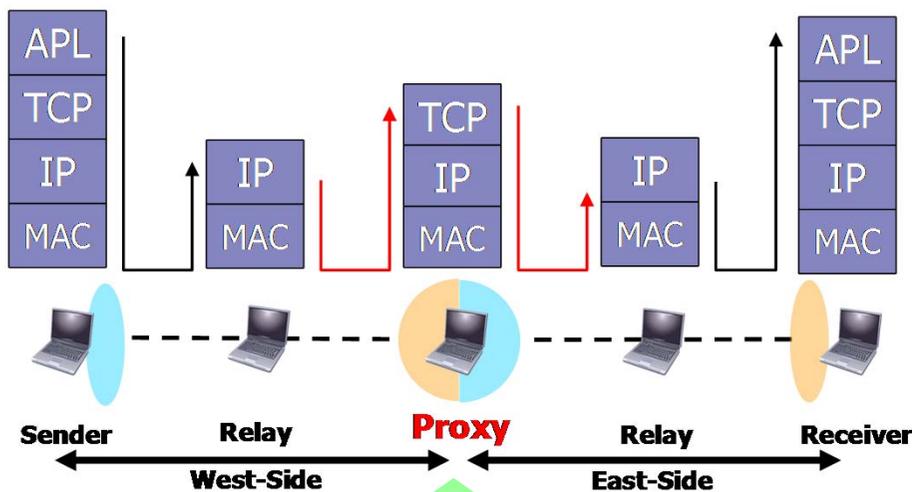


スループット特性(7ホップ)

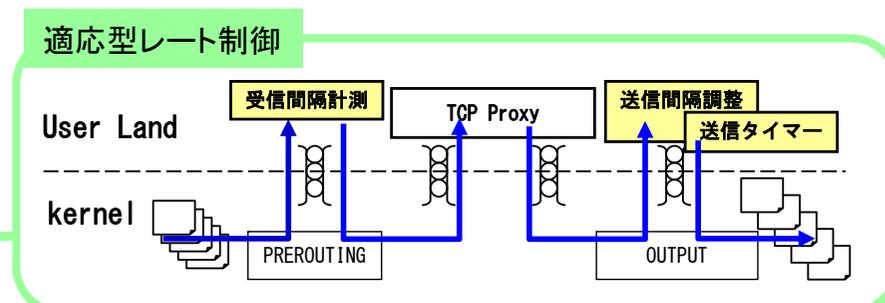
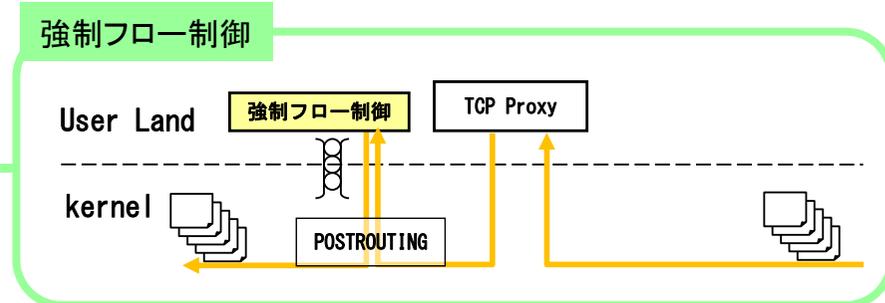
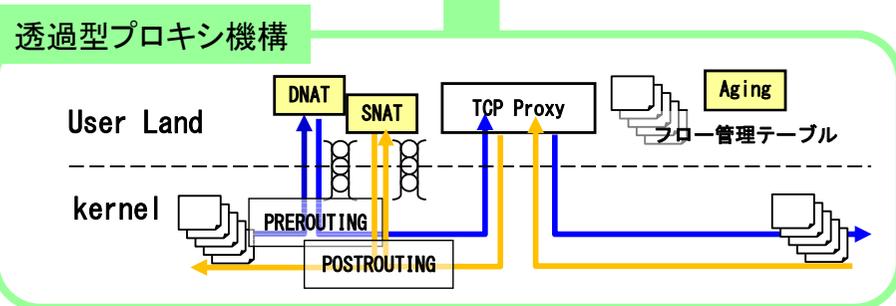
北九州ユビキタスマールにおける実証実験

実環境での検証およびアプリケーション実証実験のため、開発した送信制御機構を有するTCPプロキシ技術をプロトタイプ実装した。

OS: Linux ubuntu 10.10 (kernel 2.6.35)
 MSS: 512 bytes
 Wi-Fi: 802.11g
 Routing: Static



プロトタイプシステム外観
 (使用機器: Panasonic Lets note CF-S)



北九州ユビキタスマール実証実験概要

NAL

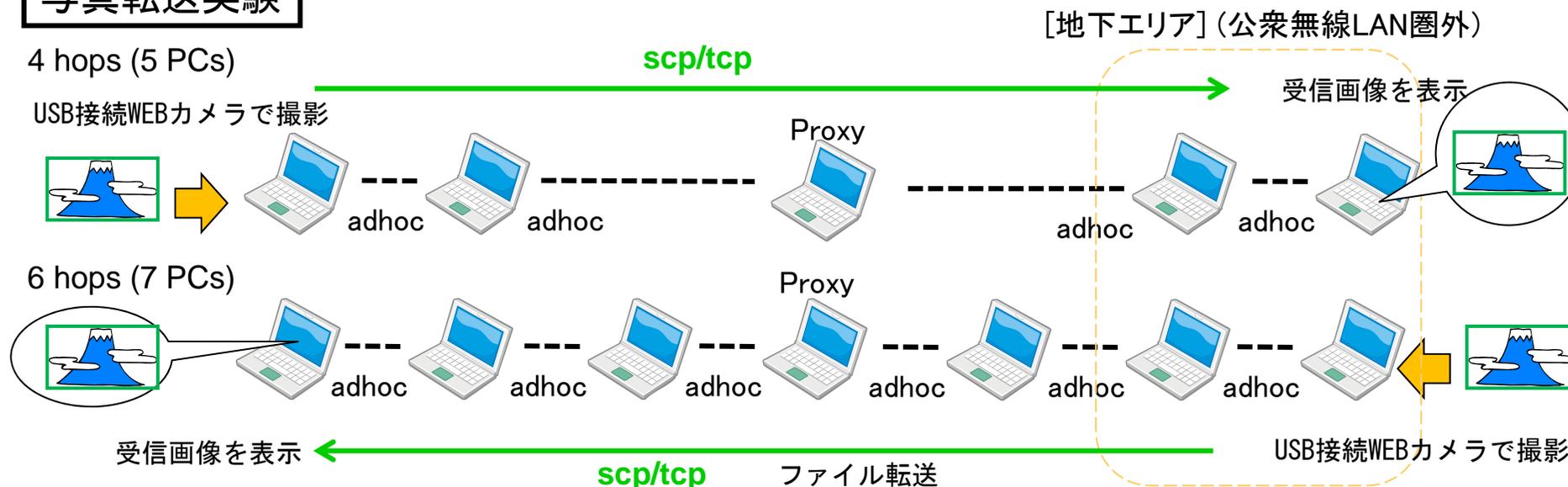
- 日時
 - 平成23年12月5日(月)～7日(水)
- 場所
 - 北九州ユビキタスマール内(魚町商店街アーケード)
 - ✓ 北九州市小倉北区魚町二、三丁目付近
- 目的
 - 開発した無線アドホックネットワーク技術を用いて、公共無線LANの電波の届かない場所まで一時的に通信エリアを拡張
 - 拡張された無線LANを通じて実際に複数のアプリケーションを利用して、その実用性を検証
- 検証アプリケーション
 - 1) 写真転送
 - 2) ストリーミング再生
 - 3) WEBページ閲覧
- アドホックネットワーク構成
 - 最長距離6ホップ、最大12台規模
- 機材
 - ノートPC: 10台、iPad: 2台、バッテリー: 多数



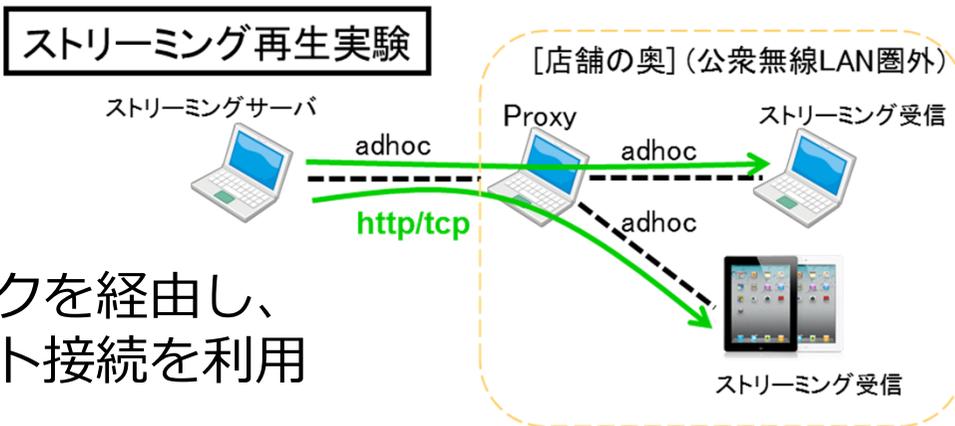
SCOPE研究発表会(平成23年度終了課題)

- 送信ホストにWebカメラを接続し、カメラで静止画を撮影するとTCPアプリケーションであるscpを用いて自動的にその画像ファイルを受信ホストに転送するツールを用意しておき、撮影した写真をアドホックネットワークを介して転送
- 送信ホストまたは受信ホストのいずれか一方を北九州ユビキタスマールの公衆無線LANの電波が届かない地下通りに配置し、公衆無線LANを利用して写真転送を行うことが不可能な状況にて実施

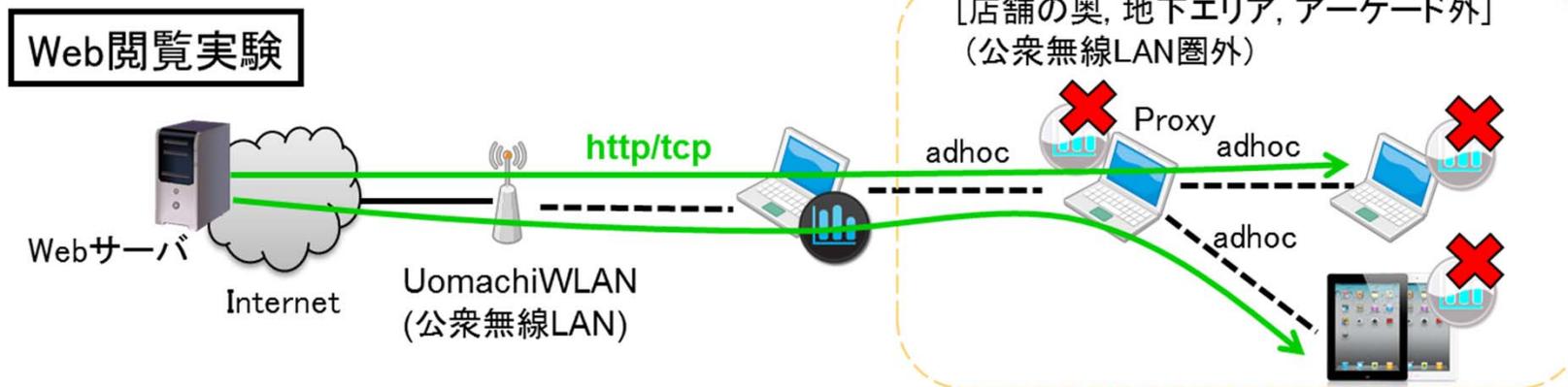
写真転送実験



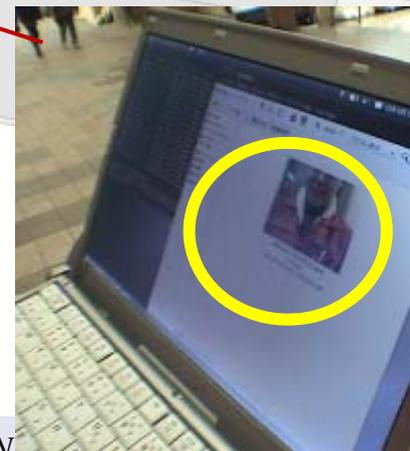
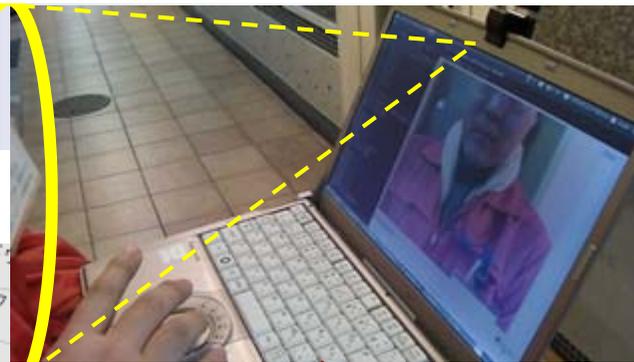
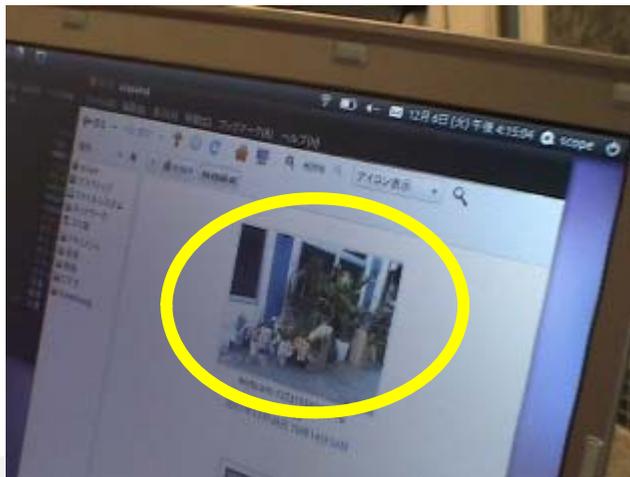
- 商店街の地下通りエリア、ストリーミング再生実験で用いた商店街に面した店舗の奥のようなエリアの他、商店街アーケードから少し離れた位置で北九州ユビキタスマールの公衆無線LANのカバーエリアから外れたエリアにて実施



- 構築したアドホックネットワークを経由し、公衆無線LANのインターネット接続を利用 (Webページ閲覧)



写真転送アプリケーション実験



SCOPE研究発表会 (平成23年度終了課題)

ストリーミング再生/Web閲覧アプリケーション実験



■ 写真転送

- 地下通りにて撮影した画像をアドホックネットワーク内を6ホップ中継させて転送するシナリオ、および、アドホックネットワーク内を4ホップ中継させてこの地下通りに位置するホストに画像転送するシナリオのいずれも、正常に動作させることができ、公衆無線LANサービスに頼らずとも静止画を4ホップまたは6ホップの長距離転送することが可能であることを確認した。

■ ストリーミング再生

- 店舗奥の位置において、PCおよびiPadを操作してアドホックネットワーク内を2ホップ中継させてストリーミングサーバにhttp接続し、ストリーミングコンテンツの再生が正常に行えることを確認した。

■ Web閲覧

- PCおよびiPadによるhttpアクセスを、アドホックネットワーク内を最大3ホップ中継させて北九州ユビキタスマールの公衆無線LANのインターネット接続にまで到達させ、Web閲覧が正常に行えることを確認した。

■ 論文発表 2件

- Masato Matsumoto, and Miki Yamamoto, “Performance Evaluation of Flow Fairness in Proxy-based TCP for Ad Hoc Networks,” Proceedings of 2011 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (IEEE PacRim), pp.780–785, August 23–26, 2011, Victoria, B.C., Canada
- Daiki Nobayashi, Takeshi Ikenaga, Yutaka Fukuda, “A Simple Priority Control Mechanism for Performance Improvement of Mobile Ad-hoc Networks,” The 36th IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN) 2011, pp. 167–170, October 4–7, 2011, Bonn, Germany (2011 年10 月)

■ 研究発表 4件

- 松本誠人、山本 幹“無線マルチホップネットワークにおけるプロキシ型TCP の公平性評価”電子情報通信学会ネットワークシステム研究会、NS2010-121(岡山)(2010 年12 月16 日)
- 野林大起、池永全志、福田豊、“アドホックネットワークにおける周辺ノードの振る舞いを考慮した送信優先度制御方式の検討”、電子情報通信学会 インターネットアーキテクチャ研究会、IA2010-94(高知)(2011 年3 月1 日)
- 阪口 幸生、藤原 俊輔、永田 晃、山本 幹、“無線マルチホップネットワークにおけるエンドエンド TCP 間の公平性に関する研究”、電子情報通信学会関西支部第17 回学生会研究発表講演会、B2-1(滋賀県草津市)(2012 年3 月9 日)
- 野林大起、光根隆文、福田 豊、池永全志、永田 晃、“アドホックネットワークにおける周辺ノードの通信状況に基づく動的送信スケジューリング方式の検討”、電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会、IA2011-85(北海道札幌市)(2012 年3 月15 日)

■ 特許 1件

- 池永全志、野林大起、高木宏、永田晃、「ノード及びプログラム」(共同出願)、特願2012-48770号、日本、2012年3月6日

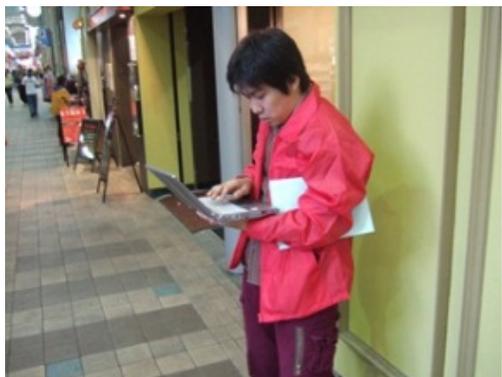
■ 展示会出展 1件

- ネットワーク応用技術研究所、関西大学、九州工業大学、九州ヒューマンメディア創造センター、“中小規模コミュニティ向けインフラ構築のための無線アドホックネットワーク実用化基盤技術の研究開発”、九州・国際テクノフェア2011(福岡県北九州市)(2011年11月9日～11日)

■ 報道発表 1件

- 九州ヒューマンメディア創造センター、ネットワーク応用技術研究所、関西大学、九州工業大学、“魚町商店街の無線LANエリアを拡張する実証実験を実施”、市政・経済記者クラブ(北九州市), 平成23年12月1日.

- ・ 関係した学生：学部生 7 名（卒業生 7 名）
 修士課程 12 名（修了生 8 名）
 博士課程 1 名（学位取得者 1 名）
- ・ 関係した技術者、研究者など： 11 名 ※2年間の延べ人数



SCOPE研究発表会（平成23年度終了課題）

■ 送信制御機構を有するTCPプロキシ技術

- アドホックネットワークにおけるTCPトラヒック転送性能改善のため、適応型レート制御および強制フロー制御の2つの送信制御機構を有する改良型TCPプロキシ方式を開発した。プロトタイプによる実機実験を通じて得られたデータおよび課題に基づき様々なシミュレーション評価を行い、実用化に向けた今後の研究開発における検討課題を得た。

■ MACフレーム送信優先度制御技術

- 通信を中継するノードが単一のチャネルを共有するアドホックネットワークでは各ノードが通信を中継する際にチャネルの干渉が発生しネットワーク全体の通信性能が低下することに着目し、各ノードが近隣ノードの挙動を監視し、その結果に基づき送信優先度を決定する送信優先度制御方式 (Prioritized Transmission Scheme (PTS))を開発した。さらにPTSの改良方式として、各ノードのフレーム送信を自律分散方式で制御する際に、優先度の変更を決定する指標を周辺環境に適応して動的に変化させることによってノード間の干渉を抑制するAutonomous Dynamic Transmission Scheduling (ADTS) 方式を開発した。

■ 北九州ユビキタスマールにおける実証実験

- 北九州ユビキタスマールにて提供される公共無線LANの電波が直接届かない場所(地下、店舗の奥、商店街のアーケードから離れた場所等)でも、アドホックネットワークによってエリア拡張されることで、各アプリケーションが利用可能となることを確認し、アドホックネットワークの実用性を検証できた。