

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25730065

研究課題名(和文) コグニティブマルチホップ環境における自律分散型経路制御方式の研究

研究課題名(英文) Research of Distributed Autonomous Route Management Mechanism in Cognitive Multi-hop Environment

研究代表者

灌本 栄二 (Takimoto, Eiji)

立命館大学・情報理工学部・助手

研究者番号：90395054

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、想定するコグニティブマルチホップ環境における経路制御の中でも経路ループに焦点を当て、これを解決するための自律分散型経路制御方式を実現した。本経路制御方式は、ネットワークを構成する各端末が必要に応じて能動的制御と受動的制御を併用することで経路ループを抑制する。シミュレーション評価の結果、本経路制御方式によって経路ループの発生が完全に抑制され、安定した通信速度を実現できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：This research focused on the routing loop problem in cognitive multi-hop environment, and developed the distributed autonomous route management method as a countermeasure. The method restrains routing loops by the hybrid manner, proactive control and reactive control, on each node which organizes a network. Simulation results shows the proposed method restrains routing loops perfectly, and achieves stable communication speed.

研究分野：無線ネットワーク

キーワード：コグニティブネットワーク 無線マルチホップネットワーク ルーティングプロトコル 経路ループ

1. 研究開始当初の背景

近年、周辺の周波数利用状況に応じたチャネル割当てやインタフェース選択といった、効率的な周波数資源の利用を実現するコグニティブ無線技術が注目されている。また、コグニティブ環境を想定した複数インタフェースを搭載した端末によるマルチホップ無線ネットワークに関する研究が行われている。コグニティブ環境では、異なる通信品質を持つ無線メディアを複数使用するため、それらの特性を考慮した通信制御が行われる。

一般的に、通信特性の動的変動に適応する経路制御では、一貫性を持つ制御情報が保証されていることを前提にしている。しかし、パケット損失機会が多い無線通信では一貫性を保証することが困難であり、その結果として経路ループが発生するという課題がある。さらに、ホップ数に基づく解決法では、最適な経路選択が不可能であるという課題もあった。

2. 研究の目的

本研究は、マルチチャネル・マルチインタフェース・マルチレンジ（各無線インタフェースの通信半径が異なる）を特徴とする無線端末で構成されるコグニティブ・マルチホップ環境において、通信遅延に基づく経路制御とチャネルの並列利用とを自律分散的に実現するものである。特に、チャネルを並列に利用（各インタフェースへのパケット分配制御）すると、同一フローであってもパケット単位では異なる経路を通る。本研究では、ループ経路と不必要な経路変更（オシレーション）を防ぐことで、効率的に経路を構築・選択する方式の開発・評価に重点を置く。これにより、周波数資源の有効な活用を実現しネットワーク性能を向上させることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、上記特徴に対して以下の2つを実現することで研究目的を達成する。

(1)木構造経路を作成することで経路ループを防ぐ

木構造をベースとした経路制御によって研究目的を達成する。具体的には、動的メトリックを重みとしてMSTを自律分散的に構築する方式を開発する。

(2)経路変更の影響を見積もることで経路発振による経路の不安定性を解消する

経路変更に伴うトラフィックの移動量と、変更前経路と変更後トラフィック量を基準とした経路変更を実現する。

さらに、上記2点に対して、研究期間内で方式設計とシミュレーション評価による有効性の検証を行う。さらに、実機実装を行い、実環境での適用が可能であることを実験によって示す。

4. 研究成果

(1)コグニティブマルチホップ環境における経路ループの発生を抑制するため、以下に挙げる3つの方式を特徴としたルーティングプロトコルを開発した。

プロアクティブ型とリアクティブ型のハイブリッド方式

プロアクティブ型ルーティングプロトコルは、周期的にフラッディング等を用いてリンク情報をネットワーク全体で共有し、その情報に基づいて経路を構築する。そのため、最適経路の構築が可能であるが、リンク情報交換時におけるパケットロスもしくは遅延により、全端末におけるリンク情報の一貫性保証が困難である。リンク情報の非一貫性は、経路ループ発生のおおきな原因である。一方、リアクティブ型ルーティングプロトコルは、主に最も中継回数が少ない最小ホップ数経路に基づき、通信要求発生時に経路構築を行う。経路構築時には、経路要求メッセージをフラッディングし、宛先端末がこれを受信すると経路要求メッセージの送信元に対して経路応答メッセージを返信する。この一連のメッセージのやり取りによって到達性の保証が行われるため、通常経路ループが発生しない。本研究では、これら2種類のルーティングプロトコルの特性を組み合わせた。具体的には、プロアクティブ型ルーティングプロトコルと同様、リンク情報の交換を周期的に行う。その結果、最適経路が変更となった場合、提案方式ではリアクティブ型ルーティングプロトコルと同様、2種類のメッセージによる新規経路の到達性保証を行う。これにより、端末が保持するリンク情報に一貫性が保たれていない場合であっても、到達性の保証、すなわち経路ループが存在しない経路を構築することを可能とする。

動的メトリックと静的メトリックのハイブリッドメトリック

ルーティングプロトコルが経路構築・変更する際は、メトリックと呼ばれる基準に基づいて行う。静的メトリックはネットワークの構造であるトポロジに基づいた変動の少ないメトリックであり、動的メトリックは干渉や遮蔽物等によるリンク品質に基づいて動的に変動するメトリックである。静的メトリックに基づく経路制御は経路ループが発生しにくい品質の悪いリンクを選択することによる通信性能の劣化が課題であり、動的メトリックに基づく経路制御は、その逆の特性を持つ。本研究では、静的メトリックによ

って選択可能な経路をフィルタし、フィルタを通過した経路集合の中から動的メトリックに基づいた最適経路を選択することで、それぞれの利点である経路ループが発生しにくく、かつ通信性能の高い経路選択を実現する。

インクリメンタルルーティング

経路ループが存在しない経路を維持するためには、初期経路の構築時に経路ループを含まないようにすることが重要である。本研究では、インターネットとマルチホップネットワークとを接続するゲートウェイとなる端末を起点に、1 ホップずつ経路制御を行うことで、経路ループを含まない初期経路の構築を可能とする。

上記の特徴を持つルーティングプロトコルによって経路ループが抑制できることを確認するため、シミュレーション評価を行った。

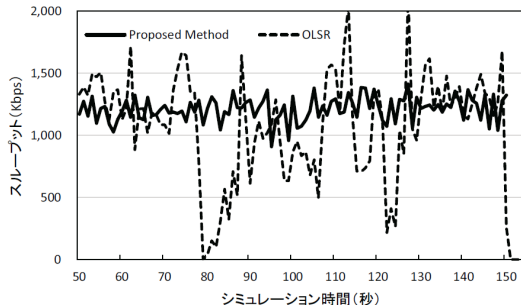


図 1：OLSR との比較

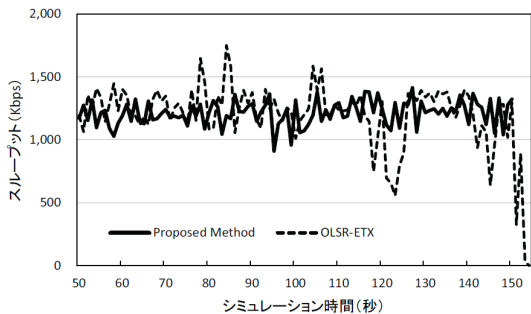


図 2：OLSR:ETX との比較

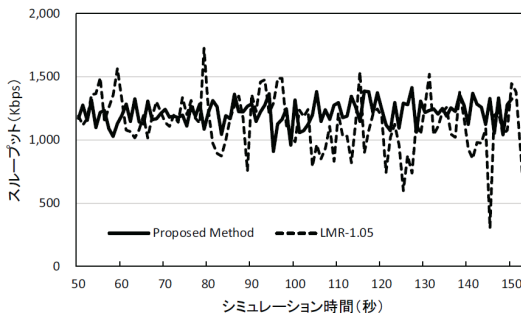


図 3：LMR との比較

図 1、図 2、図 3 は、それぞれ、プロアクティブ型ルーティングプロトコルである

OLSR、OLSR に動的メトリックである ETX を適用した OLSR-ETX、OLSR-ETX に経路ループ抑制機能を追加した LMR と提案方式とのスループット推移の比較結果である。

表 1：経路ループを通過したパケット数

ルーティングプロトコル	経路ループを通過したパケット数
OLSR	370
OLSR-ETX	1348
LMR	3034
提案手法	0

表 2：通信遅延

ルーティングプロトコル	平均通信遅延 (秒)
OLSR	1.601
OLSR-ETX	1.499
LMR	1.867
提案手法	1.027

表 1、表 2 は、それぞれ経路ループを通過したパケット数と平均通信遅延をまとめたものである。これらから、提案手法では経路ループが一切発生していないことが確認できる。また、経路ループを抑制したことによって小さい通信遅延と安定したスループット推移が実現できたことがわかる。

(2)コグニティブマルチホップ環境では、適応的な経路制御を行うことで通信性能を向上させる。しかし、現在最も一般的に用いられているトランスポート層プロトコルである TCP による通信では、経路制御によって通信性能に悪影響を与える可能性がある。具体的には、経路が変更された際にパケットの追越しが発生し、その追越しがもたらす順序エラーによってパケットロスが発生していないにも関わらず TCP 再送制御・輻輳制御が実行されるといものである。本研究では、このような再送・輻輳制御を必要としない順序エラーの発生に対して、その原因を特定し、パケットロスを原因としない場合において確認応答パケットの送信を待機させることで解決を図った。順序エラー発生時の原因判定は、次のような基準で行う。

- ・未到着のパケットは複数であるか否か。
これは、パケットロスの発生が基本的に散発的であり、かつ追越しは複数のパケットを追い越す傾向が強いためである。
- ・パケット到着間隔の変動幅
パケットロス発生時は、本来到着すべきパケットが消失するため、到着間隔に大きな開きが生じる。一方、追越し発生時は、本来到着すべきパケットよりも早く後続のパケットが到着するため、到着間隔が短くなる傾向がある。

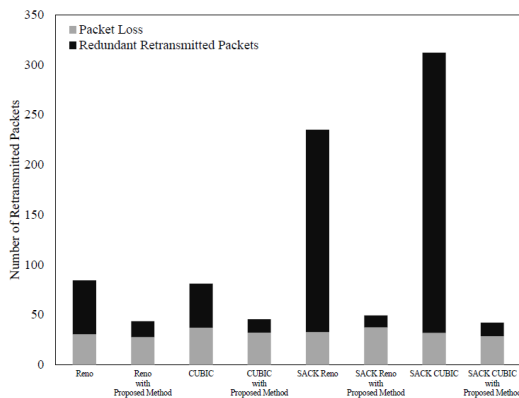


図 4：再送パケット数と内訳

上記基準に基づき順序エラーの原因判定を行い、確認応答パケットの送信制御を行う機構を Linux 上に実装し、実験を行った。実験結果は、図 4 の通りとなった。図中の棒グラフは TCP 再送回数を表しており、そのうち、グレーの部分のパケットロスに対する再送、黒い部分が経路制御による追越し発生に対する再送の回数を表す。Linux が提供する複数の再送・輻輳制御アルゴリズムで実験を行った結果、すべてのケースにおいて本研究が有効であることが確認された。特に、Linux がデフォルトで使用する SACK オプションが有効な場合において、本来必要としない再送回数を大幅に削減できていることが確認できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 8 件)

Shuhei Aketa, Eiji Takimoto, Yuto Otsuki, Shoichi Saito, Eric W. Cooper, and Koichi Mouri, Suppressing Redundant TCP Retransmissions in Wireless Mesh Networks, International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2015, 2015 年 3 月 19 日, 香港(中国)

野村 拓矢, 明田 修平, 大月 勇人, 毛利 公一, 瀧本 栄二, PiggyCode 改善方式の提案と実機評価, 情報処理学会 第 74 回モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会, 2015 年 3 月 3 日, 芝浦工業大学豊洲キャンパス(東京)

Eiji Takimoto, Shuhei Aketa, Yuto Otsuki, Shoichi Saito, Koichi Mouri, Hybrid Loop-Free Routing Protocol for Wireless Mesh Networks, IET International Conference on Frontiers of Communications, Networks and Applications, 2014 年 11 月 3 日, クアラルンプール(マレーシア)

赤川 奨, 明田 修平, 大月 勇人, 瀧本 栄二, 毛利 公一, MANET におけるコネクション分割による TCP 再送制御の局所化手法,

電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 2014 年 9 月 26 日, 徳島大学(徳島)

田仲 竜也, 明田 修平, 大月 勇人, 瀧本 栄二, 毛利 公一, 消失訂正符号方式におけるリンク品質に基づく冗長率の動的制御, 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 2014 年 9 月 26 日, 徳島大学(徳島)

岡田 数馬, 明田 修平, 大月 勇人, 瀧本 栄二, 毛利 公一, 無線インタフェース集約における課題とその解決手法, 電子情報通信学会 総合大会, 2014 年 3 月 21 日, 新潟大学(新潟)

明田 修平, 大月 勇人, 毛利 公一, 瀧本 栄二, 経路変更起因する冗長な TCP 再送制御の抑制手法の改善, 電子情報通信学会 モバイルネットワークとアプリケーション研究会, 2013 年 11 月 22 日, 熊本大学(熊本)

明田 修平, 大月 勇人, 毛利 公一, 瀧本 栄二, シーケンス番号の差分に基づいた経路変更起因する TCP 再送制御の抑制手法, 電子情報通信学会 コミュニケーションクオリティ研究会, 2013 年 7 月 12 日, 北海道大学(北海道)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀧本 栄二 (Eiji Takimoto)
立命館大学情報理工学部 助手
研究者番号: 90395054