

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：14701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700069

研究課題名(和文) 通信が切れない高信頼な無線アドホックネットワーク基盤技術の開発

研究課題名(英文) Fundamental Techniques for Reliable Wireless Ad-hoc Networks That Avoids Flow Disruption

研究代表者

吉廣 卓哉 (YOSHIHIRO, Takuya)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：80362862

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、接続が切れやすい無線アドホックネットワーク、ユーザの通信が可能な限り切断されない高信頼な通信基盤とするための技術を研究開発した。このために、2つの技術を組み合わせる。トポロジ変化時にパケットのループを発生させない技術と、輻輳時に迂回路を用いて空きがあるリンクに通信を誘導する技術、である。開発した技術をネットワークシミュレータに実装し、評価することにより、有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：In this paper, we developed techniques to make wireless ad-hoc network reliable in which communication flows are hard to disrupt. We combine two techniques to this end: a technique to avoid packet looping even when network topology changes, and a technique to reroute packets using bypassing paths to avoid congestion in the network. We implemented them on a network simulator, and evaluated it. As a result, we confirmed the effectiveness of the proposed techniques.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：情報ネットワーク グラフ理論 アドホックネットワーク

1. 研究開始当初の背景

近年、有線のインフラを構築せずに低コストでネットワーク通信を実現する無線アドホックネットワークの研究が盛んである。この分野の研究では、多くの場合にスループット性能が注目され、スループット性能を向上する研究が多数を占める。しかし一方で、センサネットワーク等のように、スループット性能はそれほど望まないが、常に接続性が保たれるような安定通信が重要であるアプリケーションも数多い。また、スループット性能を要求する場合でも、通信基盤として社会にサービスを提供するためには、通信の安定性は必須の条件である。それにもかかわらず、既往研究を俯瞰しても、ユーザが通信切断を経験しなくて済む程の高い安定性能を目指す研究は見られない。これは、通信切断に至る要因が複数にわたり、現在の技術水準では各研究が個別の要因を対象にするにとどまっているからである。

2. 研究の目的

申請者はこれまでの研究経験から、「輻輳」「リンク切断」「パケットループ」の3要因の連鎖により通信切断が発生すると分析しており(図1を参照)、安定通信を実現するためにはこれら全ての解決が必要であると考えている。中でも、「リンク切断」と「パケットループ」の2つは直接的な通信切断の原因であり、これらの完全解決は通信切断の根絶を意味する。本研究課題では、これら2つに対する改善方法を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、無線アドホックネットワークにおける代表的なリンク状態型プロトコルである OLSR を対象とする。リンク切断に対応するために、下記(1)(2)の各技術を開発する。一方、ループの削減に関しては、下記(3)の技術を開発する。これらを組み合わせることで、ユーザの通信が切断しにくい頑強な無線アドホックネットワークを目指す。

(1) 広告トポロジの冗長性確保

本研究で対象とする経路制御プロトコル OLSR (Optimized Link-State Routing) は、MPR (Multi-Point Relay) と呼ばれる方法によって、ネットワーク中に広告されるリンク数を制限し、大きく制御負荷を低減する。しかし、迂回路構築のために必要なリンクが広告されないために、実際には迂回路が存在するのにこれを計算できない問題がある。そこで本課題では、制御負荷を十分に低く抑えると同時に迂回路の存在を保証できる冗長性を確保できるような広告リンク決定アルゴリズムを開発する。

(2) 迂回路の即時利用

無線環境では突然のリンク切断は避けられない。また、動的メトリックは無線品質を

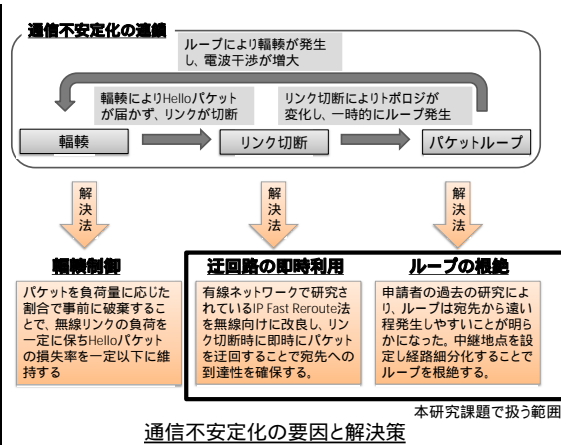


図1: 通信不安定化の原因と解決法

反映して比較的緩やかに経路を変更する技術であり、一般に急激なトポロジ変更には対応できない。そこで本課題では、急激なトポロジ変更時に動的メトリックが適応するまでの間、予め設定された迂回路を用いてパケットロスを防ぐ方式を提案する。このためには、無線ネットワークに適した迂回路の構築が必要である。本課題では、有線環境向けの迂回路構築・利用法 IP Fast Reroute を改良し、無線特有の性質(干渉やモビリティ等)に適応させた迂回路構築法を実現する。

(3) ループの削減

我々はこれまで継続的にループを削減/防止する手法の研究を進めた結果として、動的メトリック下で発生するループの性質を探索してきた。この中で、パケットループは宛先から遠く、かつループが含むノード数が少ない場合ほど発生可能性が高いことを発見した。この原理に基づき、本課題では、宛先までの経路に中間地点を複数設け、経路制御を細分化することで経路ループを大幅に削減する手法を設計・評価する。

4. 研究成果

(1) 広告トポロジの冗長性確保

1 に関しては、MANET を対象としたリンク状態型経路制御プロトコルである OLSR を改良して、迂回路を計算できるような十分に冗長な広告トポロジを確保する技術を開発した。OLSR はリンク状態型経路制御プロトコルであるが、ネットワークの完全なトポロジを全ノードに広告するわけではなく、メッセージ負荷を削減するために、最短経路を計算できる限りにおいて、一部のリンクは広告しない戦略をとる。しかし、この広告トポロジ十分に冗長でなく、1リンク、または1ノード故障に対してさえも、迂回路を保証できなかった。本研究では、広告リンク選択手法を改良することで、1リンクまたは1ノードの故障時には、(ネットワークに存在する限りにおいて)必ず迂回路の存在を保証できるような広告トポロジを生成する手法を提案した。こ

のアルゴリズムが迂回路の存在を保証できることは、グラフ理論に基づいて理論的な証明を与えた。

さらに、このアルゴリズムにより、迂回路の存在を保証する代償として、どの程度のメッセージ負荷がかかるかを、シミュレーションを用いて評価した。25 ノードを辺の長さを変動させた正方形領域にランダム配置した場合のメッセージ負荷量を図 2 に示す。本結果によると、提案手法は、通常の OLSR よりも大幅にネットワーク負荷が大きいことがわかる。しかし、OLSR においては、ノードが高密度に配置された場合に特にメッセージ負荷量が上がることが問題とされており、提案手法 (Algo1, Algo2) はノード密度が高い場合には低いメッセージ負荷に抑えることに成功している。よって、提案手法ではメッセージ負荷は大きくなるものの、実用的には十分に低い負荷を維持しながら、冗長な広告トポロジを提供することができることがわかった。

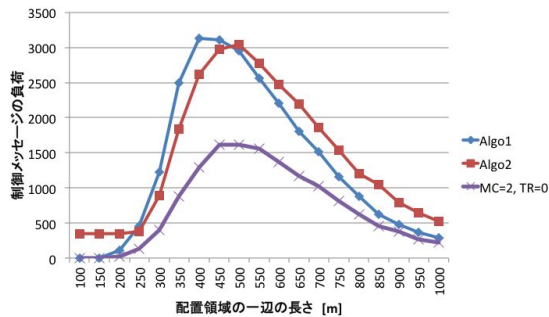


図 2：提案トポロジ冗長化法におけるメッセージ負荷量

(2) 迂回路の即時利用

迂回路の活用として、IP Fast Reroute 法の一つである SBR を OLSR に適用する方法を提案した。SBR では、パケット上に 2 ビットの領域を追加し、第 2 の経路表を計算することで実現できる。一方、有線ネットワークでは、リンク切断は電氣的に検出が可能であり瞬時に対応できるのに対し、無線ネットワークではタイムアウトを用いる等の方法に頼らざるを得ないため、これが難しく、新たな方法を考案する必要がある。本研究では、MAC プロトコルとして IEEE802.11 を想定し、データフレームの再送回数が増加すると一定時間迂回路にパケットを転送する方法を提案した。上記方式をネットワークシミュレータ Scenargie に実装し、評価実験を実施したところ、一定の通信性能の向上を確認できた。一方で、無線ネットワークにおいては輻輳の影響は一定の範囲に及ぶため、1 リンク或いは 1 ノードを迂回する IP Fast Reroute では輻輳領域を迂回するには十分でないことがわかった。

上記の問題を踏まえて、輻輳領域を避けるように少し大回りの迂回路を計算する新

た迂回路計算法を考案した。本手法では、の場合と同様にフレームの再送回数の増加により輻輳を検知し、迂回路にパケットを転送する。また、輻輳領域を時計周りとは反対時計周りの両方で迂回できるように経路表を 2 枚追加し、パケットが迂回中に再び輻輳を検出した場合には、反対周りに迂回をし直すことで、スループットをさらに向上する工夫を組み込んだ。

本手法をネットワークシミュレータ Scenargie に実装し評価を行った。局所的な輻輳を模擬するために、本評価シナリオでは、ネットワーク上に妨害電波を発するノード (以後、妨害ノード) を設置したシナリオにおいて、通信性能を評価した。このシナリオでは、妨害ノード近くで通信が行われた場合、輻輳が発生し通信品質が低下する。そこで、輻輳の影響を避ける大回りの迂回により、輻輳領域を避けた迂回通信を行うことによる通信性能の向上を評価した。1200m × 1200m のフィールド上に、固定ノード 100 個をランダムな位置に配置する。各ノードは IEEE802.11 に準拠したインタフェースを 1 つ備え、その通信速度は 6Mbps とする。妨害ノードをフィールドの中央に配置し、他のノードと同様の IEEE802.11 インタフェースを備える。妨害ノードは 512 バイトのブロードキャストフレームを 1Mbps で送信し続けることとする。ただし、妨害ノードも他ノードと同一のチャンネルで動作し、CSMA/CA の動作に従うため、送信タイミングは周囲の通信状況に応じて前後する。フィールドの左辺中央と右辺中央にそれぞれ送信ノードと受信ノードを配置し、パケットサイズ 512 バイトの CBR(Constant Bit Rate)通信を発生させる。送信レートは 100kbps から 500kbps まで変動させた。

図 3 に評価結果を示す。その結果、現実を模したシナリオにおいて、迂回経路表を 1 枚使う場合、2 枚使う場合ともに、従来手法よりもスループット及びパケット到達率が高いことを確認でき、一定の通信性能の向上を実現できることが明らかになった。

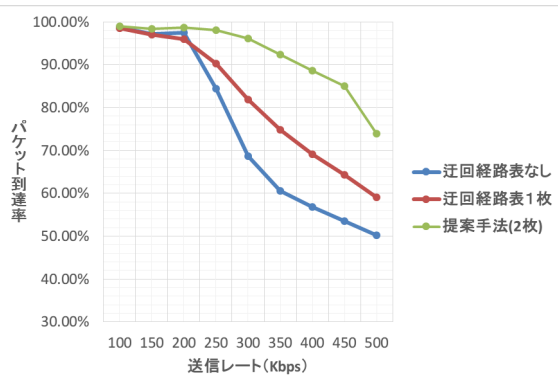


図 3：迂回路計算法の評価結果

(3)ループの削減

ループの削減法として、宛先までの経路に中間地点を複数設け、経路制御を細分化することで経路ループを大幅に削減する手法を設計した。提案手法では、簡易なソースルーティングを実現するために、IP パケットヘッダを拡張し中間地点を格納するフィールドを付与する。そのうえで、最短経路に沿ったk ホップ先のノードを中継地点に設定することで、頻繁なトポロジ変化時にもループを低減する手法を提案した。

提案手法をネットワークシミュレータ Qualnet により評価した結果、提案手法は一定のループ削減効果があることが判明した。しかし、実用的には大きな改善と言える水準ではないことも明らかになった。これは、無線メッシュ網でトポロジ変化が発生するのは主にトラフィック量が大きい場合であり、その場合には輻輳によりリンク切断が多発することが原因であった。

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)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計5件)

梶清貴, 吉廣卓哉, OLSR における局所的な輻輳を回避するマルチパスルーティング, 第73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, 福岡県福岡市, 2014.

湯川陽平, 吉廣卓哉, OLSR における迂回路構築法の一検討, マルチメディアと分散処理 第155回研究会, 沖縄県石垣市, 2013.

梶清貴, 吉廣卓哉, OLSR における輻輳制御のための迂回路構築手法, マルチメディア・分散・協調とモバイルシンポジウム (DICOM02013), 北海道河東郡音更町, 2013.

Yohei Yukawa and Takuya Yoshihiro, Selecting Advertising Links to Generate Detour Paths against Single Node and Link Failure in OLSR, International Workshop on Informatics, Chamonix-mont-blanc, France, 2012.

小林雅典, 吉廣卓哉, 無線メッシュ網における中継点の繰り返し設定によるループ削減手法, マルチメディア・分散・協調とモバイルシンポジウム (DICOM02012), 石川県加賀市, 2012.

〔図書〕(計1件)

Takuya Yoshihiro and Masanori Kobayashi, "Reducing Packet Loops under Link-State Routing in Wireless Mesh Networks," Wireless Ad-hoc Networks, ISBN:

978-953-51-0896-2, Intech Web Press, pp.101-119, 2012.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

研究代表者ホームページ

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~tac/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉廣 卓哉 (YOSHIHIRO, Takuya)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号: 80362862

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし