

**無線アドホックネットワークにおける
ループフリーな動的メトリック変更による通信の高信頼化 (092107006)**
Improving Communication Stability using Loop-free Dynamic Routing Metrics
in Wireless Ad-hoc Networks

研究代表者

吉廣卓哉 和歌山大学システム工学部

Takuya Yoshihiro, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

研究分担者

なし

研究期間 平成 21 年度～平成 23 年度

概要

本研究開発では、(a) LLD (Loop-free Link Duration) および (b) LMR (Loop-free Metric Range) の 2 つの動的メトリック変更技術を提案する。(a) LLD はリンクの安定通信継続時間に応じて指数的にメトリックを減少させる方式で、従来の動的メトリック技術よりも低いオーバーヘッドで安定リンクを利用できる。(b) LMR はメトリック変動範囲を制限することでループを防止する方式であり、従来の動的メトリック技術に適用でき活用範囲が広い。これらの経路ループを抑制する 2 技術について、理論的解析、シミュレーションおよび実機実験を通じて有効性を評価する。

Abstract

In this research, we propose two dynamic routing metrics called (a) LLD (Loop-free Link Duration) and (b) LMR (Loop-free Metric Range). (a) LLD decreases routing metrics exponentially according to the time duration that the link continues stable communication, by which we can use stable links with lower overhead. (b) LMR limits the range of metric change in a unit time, which can be widely applied to many existing dynamic metrics. We develop and evaluate those two methods through theoretical analyses, simulations, and in-field experiments.

1. まえがき

本研究開発では、無線アドホックネットワークにおけるリンク状態型ルーティングプロトコルを対象として、一時的に発生する経路ループを削減する動的メトリック変更技術を提案した。動的メトリック変更により、各無線リンクの通信状態に応じて動的にメトリックを変動することで、通信を安定経路に誘導できる。しかし、動的メトリック変更時には経路ループが発生し通信品質を著しく損ねることが知られており、この解決が課題の一つとなっていた。本研究開発では、経路ループを防止あるいは削減することで通信品質を向上する動的メトリック手法を提案し、グラフ理論に基づいた理論的解析を行った上で、シミュレーションと実機実験により有効性を評価した。

2. 研究内容及び成果

本研究開発では、経路ループを削減する動的メトリック変更技術として、(a) LLD (Loop-free Link Duration) 及び (b) LMR (Loop-free Metric Range) の 2 手法を提案した。

(a) LLD は、リンクの安定通信継続時間がそのリンクの安定度を表すと仮定して、安定通信継続時間が長いリンクを優先的に経路として使用するための動的メトリックである。つまり、リンクの接続開始時には大きなメトリック値をとり、その後時間とともにゆるやかにメトリックを小さくすることで、最短経路計算時には安定リンクを優先的に利用する。メトリックをゆるやかに変動させることで、メトリック変動に伴うパケットループを削減することが可能であり、変動を一定以上ゆるやかにすると、リンクが故障しないこと、及び制御メッセージが損失しない条件の下で、経路ループが発生しないことを理論的に保証できる。

LLD に関する理論的成果として、このことを証明した。

このような動的メトリックをプロトコルとして実装するのは、一見オーバーヘッドが大きそうであるが、実は小さいオーバーヘッドで実現できる。全ての端末の時刻を同期し、広告するリンク情報の中にリンク接続開始時刻を入れれば良い。時刻の同期は奥の深い問題の一つであるが、ネットワーク全体で時間の進み方が同期できれば良いため、ゆるやかな同期で十分である。LLD を実装するにあたってゆるやかな同期を行うプロトコルの設計を行った。

また、LLD をネットワークシミュレータ Qualnet に実装し、性能評価を行った。LLD のループ削減性能を確認することができた。

(b) LMR は、既に適用されている動的メトリックがある場合に、そのメトリックの変動を一定範囲に抑えゆるやかに変動させることで、経路ループを削減する手法である。LMR では、単位時間あたりのメトリック変動量を、伸張係数 r を用いて、 $-r$ 倍から r 倍の範囲内に抑えることでパケットループを削減する。リンクが故障せず、また制御パケットが損失しない条件の下で、 r が一定以下の場合には、ループが発生しないことが理論的に保証できる。ここで、ループが発生しないことを保証する r の値は、そのネットワークのホップ数を基にした直径に依存する。しかし実際には、直径がそれほど小さくなくても、ループが発生しないことを保証できる r は非常に小さく（多くの場合に 1 パーセント以下の変動しか許せない）、そのため、 r の値をある程度の値で妥協することで、ループを削減する目的で LMR を適用するのが現実的である。本研究開発課題では LMR の理論的解析を行い、与えられたネットワークに対して、ループが発生しないことを保証できる伸張係数 r の最

大値を求める式を導き、その r の値ではリンクが故障せず制御パケットが損失しない条件の下でループが発生しないことを理論的に証明した。

LMR をネットワークシミュレータ Qualnet に実装し、ノードが移動するシナリオと移動しないシナリオで動作させることで評価実験を行った。ノードを移動させない場合には、ループ削減効果を確認することができ、有効性を確認できた。一方、ノードが移動する場合には、LMR は時速 5km/h 程度までは有効に働くが、それ以上になると、ループよりもリンク切断の影響が非常に大きくなり、LMR の効果は発揮されないことが明らかになった。ノードが移動しない場合の評価結果として、5x5 のグリッドトポロジのネットワークにおいて、対角線上に 4 本の CBR (Constant Bit Rate) 通信を発生させた。図 1 にその結果を示す。LMR の伸張係数を小さくすると、ループが減少し、スループットが向上することがわかる。

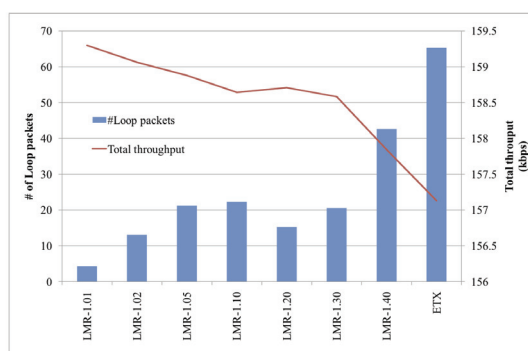


図 1. LMR のシミュレーション結果

さらに、LMR を実機実装し、ノードが移動しないシナリオで実機実験を行った。ノート PC を用いて、Linux 上で olsrd を動作させた。Olsrd には動的メトリック ETX が実装されており、実験には ETX を用いた。さらに LMR を実装した。実験トポロジを図 2 に示す。ノード a と b の間に双方向に 500kbps の CBR (Constant Bit Rate) 通信を発生させ、ループパケット数とスループットを測定した。実験結果を図 3 に示す。伸張係数 r が 1.1 程度のときに最もループパケット数が減少している。この値よりも r が大きいときにはメトリック変動量が大きいためループが発生し、小さいときには経路変更が抑制されすぎて輻輳が発生し、このためリンク切断が発生したことが原因でループパケット数が増加した。スループットに関しても、LMR を適用した方が高い性能を発揮することがわかった。スループットが最大である r の値とループ数が最小である値がずれているが、これは r の値が大きくなると経路が頻繁に切り替わるために送信すべきパケットがネットワーク全体に存在する状況となり、干渉の影響で通信性能が悪くなるためである。経路があまり頻繁に変動しない方が逆にスループットが上がる傾向が観測された。

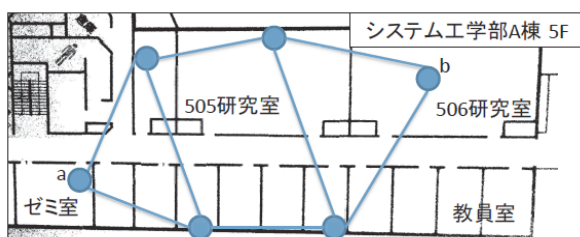


図 2. 実験トポロジ

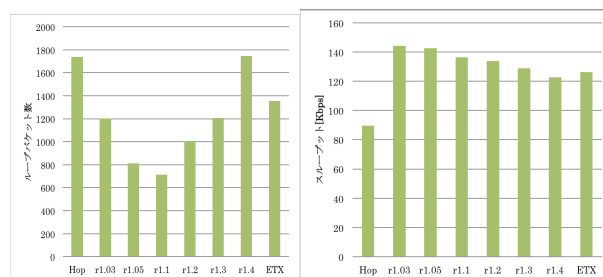


図 3. LMR の実機実験結果

3. むすび

本研究開発では、無線アドホックネットワークにおけるリンク状態型ルーティングプロトコルを対象として、一時的に発生する経路ループを削減する 2 種類の動的メトリック変更技術を提案した。LLD に関しては、ループ防止条件に関する理論的な結果を示したうえで、シミュレーションによる固定ノードにおけるループ削減効果の評価を行った。LMR に関しては、ループ防止条件に関する理論的な結果を示したうえで、シミュレーションによる固定及び移動ノードにおけるループ削減効果の評価を行った。また、LMR をノート PC に実装して性能評価を行った。評価実験の結果、LLD 及び LMR においてループ削減効果が確認された。

一方で、今後への課題も見いだされた。これらの手法はリンクメトリックの変動を抑制する手法であり、リンク品質の変動に対する経路の反応を抑制することになる。ネットワークの通信量が大きくなり、輻輳が発生すると、リンク切断が発生する。リンク切断時には通信経路の再計算が発生し、これに伴う経路ループが発生する。LLD も LMR もリンク切断時の経路ループを防止することはできないため、通信量の上昇時にはループパケット数が逆に向上してしまう現象が見られた。提案手法と併用できる手法として、トラフィック量が大きい場合であってもリンクへの負荷を調節し、リンク切断を防ぐような輻輳制御手法を確立することが今後の課題である。

【誌上発表リスト】

- [1] T. Yoshihiro, "LLD: Loop-free Link Stability Metrics for Proactive Link-State Routing in Wireless Ad Hoc Networks, Mobile Ad-Hoc Networks," Protocol Design, Xin Wang (Ed.), ISBN: 978-953-307-402-3, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/mobile-ad-hoc-networks-protocol-design/lld-loop-free-link-stability-metrics-for-proactive-link-state-routing-in-wireless-ad-hoc-networks>
- [2] Takuya Yoshihiro, "Reducing Routing Loops under Dynamic Metrics in Wireless Mesh Networks," IEEE Global Communications Conference, Exhibition, and Industry Forum (Globecom2010), pp.1-6, 2010.
- [3] Katsuya Fuji and Takuya Yoshihiro, "A Routing Metric towards Reliable Communication in Mobile Ad-hoc Networks," International Journal of Information Systems (IJIS), Volume 4, 2012.

【申請特許リスト】

- [1] 吉廣卓哉, 経路計算装置, 日本, 2010 年 2 月出願。

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://taclab.sys.wakayama-u.ac.jp/scope/>