

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560396

研究課題名（和文）ネットワークコーディングを用いたマルチホップ無線通信のモデル化とデータ配信法

研究課題名（英文）Modeling of multi-hop wireless networks with network coding and data transfer algorithms

研究代表者

田村 裕（TAMURA HIROSHI）

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：60227288

研究成果の概要（和文）：マルチホップ無線通信環境におけるデータの配信アルゴリズムを開発するために、グラフ理論における既存の辺彩色問題を拡張してモデル化した。この拡張された問題における理論的ないくつかの結果を導いた。次に、ネットワークコーディングと呼ばれる技術を取り入れ、データの配信アルゴリズムを開発した。ある程度通信が集中する端末があると、効率の良いデータ配信が可能であるが、端末の電力消費も考慮する必要がある。

研究成果の概要（英文）：We extended the edge coloring problem on graph theory for modeling the data transfer problem of the multi-hop wireless networks. We obtained the some theorems of the new edge coloring problem. We proposed a data transfer algorithm in multi-hop wireless networks with network coding and evaluate it with computer simulation. If there are some terminals concentrated communications, we can transfer data efficiently. However, the terminals consume energy. So, we need to propose an algorithm in consideration of the terminal energy consumption.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学

キーワード：ネットワーク・LAN

1. 研究開始当初の背景

マルチホップ無線通信環境におけるデータの配信、収集アルゴリズムの前身として、クラスタシステムなどの並列計算機システムにおけるアルゴリズムの研究、および開発がある。これらのデータの配信、収集はノー

ド間の通信の組み合わせで実現することになり、その送信法はスケジューリングと呼ばれる。従来の研究は有線を想定し、システムとしてもすべてのノードと直接通信可能な特殊な場合であることが多い。研究代表者は、一部無線を取り入れ、直接通信できない場合

も考慮したシステムのモデル化を行っていた。

本研究で採用するマルチホップ無線通信システムは、設置が容易であるが、直接通信できない場合がほとんどとなり、そのため特定のノードへの負荷の集中がおこる。また、時間によりその通信品質が変化してしまう。そのため、効率の良いデータの処理が必要となり、これは、最近研究され始めた、通信データの代数的演算により符号化し通信効率を向上させる、ネットワークコーディングと呼ばれる技術を用いることを想定した。

2. 研究の目的

本研究では、マルチホップ無線通信環境におけるデータの配信、収集のアルゴリズムを開発することを目的とし、そのため近年研究が進んでいるネットワークコーディングと呼ばれる技術を取り入れてモデル化し、データの配信アルゴリズムを開発するものである。例えば、学校や職場で、マルチホップ無線通信を用いて、協調しながら作業をする際、他のすべての計算機に情報を配信したり収集する必要が出てくる。グラフ理論の分野で配信/収集に関するアルゴリズムはすでに研究され、いくつかの方法が提案されているが、理想的な環境でかつ単純な通信方法を仮定するものである。本研究では、ネットワークの構成に関しては、いくつか提案されている通信品質のモデルを採用する。これらを取り入れることで、従来のアルゴリズムより効率がよく、かつ実用に近いアルゴリズムの開発が期待できる。

本研究では、無線による通信を想定するため、有線の場合に生じなかった通信チャネルの干渉や、直接通信できないノードとのデータ送信の問題を解決する必要が出てくる。これらの問題にセルラ移動通信系のチャネル割当法、マルチホップ無線システムにおける通信経路探索法を応用することで解決を目指す。これまでの研究では、グラフの彩色問題や最短経路問題を応用してきたが、ネットワークコーディングを用いる場合は、データを符号化するノード、復号するノードの選択が重要となるため、この設定を含めたこれまでにないモデル化と問題設定が必要となる。また、データ送信の際には、特定のノードに負荷が集中するのを避ける必要がある。これには、通信経路を分散させたり、あるいは、より効率の良いノードでのデータの処理が必要となる。前者は、無線 LAN システムにおける各アクセスポイントが扱う端末数を均等化する手法を応用する。また後者は、ネットワークコーディングの理論的な結果の拡張が期待できる。また、このシステムを屋外の広い範囲で展開できるようになれば、災害時の通信に応用が可能となる。

3. 研究の方法

(1) グラフ理論、ネットワーク理論、幾何学的確率理論を用いて、マルチホップ無線ネットワークの抽象的なモデルを作り、このモデルにおける情報配信/収集問題の定式化を行う。その際に、通信チャネルの割当制限や、通信障害の発生も考慮する。自律的な制御が要求されるため、分散アルゴリズムを採用することを想定した定式化となる。研究代表者は、グラフ・ネットワーク理論とその応用を専門としている。このため、通信チャネルの割当については、これまで研究してきたグラフ理論における彩色問題を応用できると考えられる。幾何学的確率理論を用いた移動通信システムのモデル化については、基盤研究

(A) による研究課題「マルチホップ無線のシステム障害を防ぐダイナミックなネットワーク制御」の研究を応用する。これは、基盤研究 (A) の共同研究グループの研究者とのディスカッションも必要としている。

次にネットワークコーディングの機能を取り入れて問題の定式化を行う。ネットワークコーディングについては、新しい技術であるため、国内外の研究動向を把握するため、調査研究を行なう予定である。

(2) 定式化が終了した後、通信アルゴリズムを開発する。最初は、問題を単純化し、中央制御が可能であると仮定し、分散的でないものを開発する。このような場合でも、理論計算機科学的な見地から、最適解を求めることは難しいと予想されるため、発見的手法による近似アルゴリズムを開発する。その際には、基盤研究 (B) による研究課題「セルラ移動通信系のニューロダイナミックチャネル割当システムの研究」により開発された、近似ダイナミックチャネル割当法を積極的に応用する。

(3) (2) の中央制御が可能で分散的でない場合、理論的なアプローチが可能であると予想される。これにより、最適解の下限を求め、以降のアルゴリズムを評価するため指標とする。しかしながら、問題の複雑性より求めた下限値が自明であることも考えられる。この場合、発見的手法による近似アルゴリズムの開発に集中する。また、ネットワークコーディングについては、データを符号化するノード、復号を行なうノードの選択が重要であり、この点については、理論的な考察が未知である部分が多い。十分な考察が難しい場合は、発見的手法により実用的な解を求めることとする。

(4) (2) において開発した近似アルゴリズムを、計算機シミュレーションにより評価

する。

(5) (4) の評価結果をもとに、より現実に近い、分散型の通信アルゴリズムを開発する。次に通信品質の指標をネットワークに取り入れ、通信アルゴリズムを改良し、計算機シミュレーションにより評価する。評価結果をフィードバックし、開発した手法の改良を行なう。評価、改良を繰り返す。

(6) 定常時の通信品質を確保していても、突発的にシステムに障害が起こる場合がある。よって、基盤研究(A)による研究課題「マルチホップ無線のシステム障害を防ぐダイナミックなネットワーク制御」の成果を応用し、起こりうるシステム障害の定式化をはかる。これにより、障害が起こった場合に回避のための分散的な手順を開発し、すでに開発されたアルゴリズムに適用する。また、この結果を評価する。

4. 研究成果

(1) マルチホップ無線ネットワークの抽象的なモデルを作成した。ごく単純なモデルとして、グラフ理論における辺彩色問題に帰着できることが知られているが、このモデル化では、チャンネル間の干渉が十分表現できない。これに対応した、従来の辺彩色により制限を持たせた強辺彩色と呼ばれる問題が提案されているが、条件が厳しすぎるため、チャンネルを十分に有効活用できるとは限らない。そこで、辺彩色と強辺彩色の間に位置する彩色問題をモデルとして提案した。この問題における、単純な構造（主に閉路のない木状のグラフ）に関する理論的な成果は、国際会議にて発表している。

(2) (1) で作成したモデルを用いた、マルチホップ無線環境におけるデータの配信、収集のアルゴリズムを開発した。ここまでは、2つの端末間にチャンネルを割当てただけであったが、いくつもの端末を経由して通信するためには、スケジューリングが重要となり、ここにネットワークコーディングと呼ばれる技術を取り入れ、円滑にデータをやり取りすることになる。単純なモデルを用いて、コンピュータシミュレーションにより、開発した発見的手法によるアルゴリズムの有効性を検証した。チャンネルの干渉を考慮に入れたモデルにおいては、ネットワークコーディングは有効な手法であることがシミュレーションにより確認された。

(3) (2) までは、端末は固定されたものであったが、移動を伴うモデルにおいても適

応可能なアルゴリズムを開発し、この場合もネットワークコーディングは有効な手法であることをシミュレーションにより確認した。しかしながら、通信が集中することで、特定の端末の電力消費が著しくなるケースが確認されたため、その対策を現在検討している。

(4) ごく単純な無線通信におけるチャンネル割当に関するモデルは、グラフ理論における辺彩色問題に帰着できることが知られているが、このモデル化では、チャンネル間の干渉が十分表現できなかった。これまでにチャンネル間干渉をよりの確に表現できる辺彩色問題を提案し、いくつかの理論的な結果を得ていたが、よりチャンネル間干渉を表現できるよう改良し、これまでの理論的な結果を拡張した。

(5) (2) で開発したスケジューリングの手法を取り入れ、単純な1対1通信のモデルに関して、ネットワークコーディングを用いたマルチホップ無線環境における分散型の通信アルゴリズムを開発した。複数の端末間の通信や端末の移動を伴うモデルに対するアルゴリズムを現在開発中である。

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5件)

① Hiroshi Tamura, Kazuyuki Miyakita, Keisuke Nakano, Masakazu Sengoku, Shoji Shinoda

Generalization of an edge coloring of graphs and channel assignment problem on multi-hop wireless networks

Proc. The 31th JSST Annual Conference、
査読有、2012、CD-ROM, OS3

② Hiroshi Tamura, Masakazu Sengoku, Shoji Shinoda

Scheduling Algorithms of the Multihop Wireless Networks Using the Network Coding in Consideration of Cochannel Interferences

Proc. The 30th JSST Annual Conference、
査読有、2011、CD-ROM, OS1-1

③ Hiroshi Tamura, Masakazu Sengoku, Shoji Shinoda

On an Edge Coloring between Conventional Edge Coloring and Strong Edge Coloring for Wireless Communications、

Proc. 2011 Int. Tech. Conf. Circuits/Systems, Computers and

Communications (ITC-CSCC2011)、
査読有、2011、pp. 57-60

④ Hiroshi Tamura, Keisuke Nakano,
Masakazu Sengoku, Shoji Shinoda
On Applications of Graph/Network Theory
to Problems in Communication Systems,
ECTI Transaction CIT、査読有、Vol. 5、
No. 1、2011、pp. 8-14

⑤ 田村 裕, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司
拡張された辺彩色問題の点彩色問題への
変換について、
電子情報通信学会論文誌、査読有、
J93-A 巻 11 号、2010、782-784 頁

〔学会発表〕(計 6 件)

① 野村駿, 田村裕, 篠田庄司
中間辺彩色の拡張と木状グラフへの彩色に
ついて
電子情報通信学会 2013 年総合大会
2013 年 03 月 20 日 岐阜大学

② 芦田雄祐, 田村裕, 篠田庄司
無線通信におけるチャネル割当に応用され
る辺彩色の評価
電子情報通信学会回路とシステム研究会
2013 年 01 月 28 日 別府国際コンベンションセ
ンター

③ 名達明裕, 田村裕, 篠田庄司
アドホックネットワークにおけるネットワ
ークコーディングの適用を考慮したルーテ
ィングプロトコル
電子情報通信学会回路とシステム研究会
2013 年 01 月 28 日 別府国際コンベンションセ
ンター

④ 田村裕, 山崎忠和, 仙石正和, 篠田庄司
木状のグラフへのいくつかの辺彩色と色数
について
2011 年電子情報通信学会ソサイエティ大会
2011 年 9 月 15 日 北海道大学

⑤ 小嶋貴明, 田村裕, 仙石正和, 篠田庄司
並列分散システムにおけるデータ配信アル
ゴリズムのステップ数について
平成 22 年度信越支部大会
2010 年 10 月 2 日 長岡技大

⑥ 小嶋貴明, 田村裕, 仙石正和, 篠田庄司
並列分散システムにおけるデータ配信アル
ゴリズム
電子情報通信学会回路とシステム研究会
2010 年 6 月 21 日 北見工大

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田村 裕 (TAMURA HIROSHI)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：60227288