

機関番号：34504

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500080

研究課題名 (和文) 劣通信環境における効率的な情報転送制御アルゴリズムの設計

研究課題名 (英文) The Algorithm Design for Efficient Data Transfer Controls in Delay Tolerant Networks

研究代表者

已波 弘佳 (MIWA HIROYOSHI)

関西学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：40351738

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、劣通信環境における蓄積搬送型通信による情報収集特性の理論的考察、および情報転送を効率化するアルゴリズムの設計を行った。まず、ランダム・ウォークによる数理モデルを提案し、現実的な環境において感染的伝搬のみで効率的に情報収集が可能な条件を理論的に示した。この結果を用いて、蓄積搬送型通信において情報伝搬効率化させるアルゴリズムを提案し、理論的解析および数値実験によってその有効性を示した。

研究成果の概要 (英文)：

In this research, we investigated the theoretical property of data gathering by the store-carry-forward routing and designed an algorithm for efficient data transfer controls in delay tolerant networks. We proposed a mathematical model with random walks to show theoretically the conditions that efficient data gathering is possible by the epidemic routing in real environments. By using this theoretical result, we also proposed an algorithm to control the data transfer efficiently and finally confirmed the validity of the algorithm by theoretical analyses and numerical experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ユビキタスコンピューティング、劣通信環境

1. 研究開始当初の背景

広帯域・低遅延の通信ネットワークの構築が困難もしくは不可能であるような劣通信環境において、一定の性能を確保できる情報通信技術 (Delay Tolerant Network (DTN))

の必要性が高まっている。実際、通信インフラが大規模な損傷を受けるような災害時における現実的な情報流通手段の確立は、国際的に防災の観点からも重要な検討項目とされている。また、気象観測・地震観測・農作

物生育状況調査・動植物生態系調査・水質調査などにおいて、大量のセンサを用いることによって自然環境情報を収集する方法が実用化されつつあるが、これによりこれまで困難であった精度の高いデータの取得が可能となり、気象・地震・災害などの予測や生産性向上などへの多大な効果が期待されている。さらに、通信衛星によるネットワークを利用した深宇宙空間の探査も重要視されており、NASAの惑星間通信ネットワークプロジェクトなども進行している。我が国でも、2006年度から情報通信研究機構(NICT)において、山間部など広域過疎地域におけるユビキタス通信環境実現を目指したDTN技術開発プロジェクトが始まっている。

これらを実現するための関連技術として、系内を自由に移動可能なノード(移動体)で構成されるアドホックネットワーク、資源の少ないセンサとセンシングしたデータを集積するシンクで構成されるワイヤレスセンサネットワークなどの研究も進んでいる。DTN技術は、これらの技術と関連して、想定されているより劣悪な通信環境においても、対象に応じて許容可能な性能を確保することを旨とする基盤技術である。

これまでのDTNに関する研究は、個別事例のソリューション対応であるか、逆に一般的な通信アーキテクチャやプロトコルの検討が中心である。そのため、普遍性の高い数理モデルの検討、それに基づく本質的な性能限界の解明、これらに立脚した効率的なアルゴリズム設計の研究については、まだほとんど手がけられていない。実用的なDTNの実現に際して、その本質的な性能の明確化と、限界に近い性能を達成できるアルゴリズムは必要不可欠であるため、これらの研究の必要性は高い。

2. 研究目的

大規模災害時における情報流通手段の確保や、その発生予知・状況監視のための大量のセンサによる自然環境情報収集など、広帯域・低遅延の通信ネットワークの存在を前提とできない劣通信環境下における情報通信技術の必要性が高まっている。そのため、国際的にもDTNに関する研究の機運が高まってきているが、現状は個別事例のソリューション対応が中心で、一般的なアーキテクチャの検討や情報転送アルゴリズムの研究はまだ始まったばかりであり、特に性能を決定する主要な要因である情報転送制御に関する有効なアルゴリズムの設計については十分な知見が得られているとはいえない。このような状況に対して、本研究では、

(1)DTNの数理モデルの確立と、その本質的な性質の解明

(2)様々なDTNの情報転送制御方式に適用できる、普遍的に効率の良いアルゴリズムの設計

を行うことを目的とした。

3. 研究方法

本研究では、DTNの数理モデルにおける情報伝播特性の解明、および様々な目的に対する効率的な蓄積転送スケジューリングアルゴリズムおよびルーティングアルゴリズムの設計を行う。そのために、確率過程理論に基づくアプローチによる解析を行い、さらにオンライン離散最適化問題として定式化して適切なアルゴリズムを設計した。

まず、主にノードが移動するモデルについて、その後ノードが移動しないモデルについて分類を行い、個別に研究を行った。また、ノードの情報蓄積容量、処理能力、消費可能電力が有限であることなど、ノードのリソースの有限性も考慮して検討を行った。

DTNにおける情報伝播特性の解明をランダム・ウォークによる数理モデルを提案することで、理論的に調べた。特に、ノードが移動するモデルにおいて、すべてのノードが他のすべてのノードの情報を収集することを目的とするDTN(例えば、Zebra Netなど)を対象に、ランダム・ウォークの理論を用いて情報伝播特性、特に情報の伝播速度や情報収集に必要な時間を明らかにすることを目指した。具体的には、モデルパラメータ(空間の次元や有界性、ベースとなるネットワークのグラフ構造を特徴付けるパラメータやリンク切断確率など)と情報収集特性の関係を明らかにするようにした。

次に、情報蓄積転送スケジューリングアルゴリズムおよびルーティングアルゴリズムの設計に関しては、ノードが移動するモデルにおいて、オンライン離散最適化問題としての定式化を行った。特に、制御可能なノードが存在する場合に対する効率的なノード移動制御を扱った。情報収集時間最小化や情報交換回数最小化など、目的や制約に応じて問題の性質が異なるため、それぞれに対して、理論的性能限界の明確化とそれに近い性能を達成できるアルゴリズムを設計し、性能評価を行った。

情報蓄積転送スケジューリングアルゴリズムおよびルーティングアルゴリズムの設計に関しては、ノードが移動しないモデルや規則的な移動を行うモデルにおいて、同様に最適化問題として扱い、様々なアルゴリズムを設計し、性能評価を行った。

上記のいずれにおいても、ノードの情報蓄積容量、処理能力、消費可能電力が有限であることなど、ノードのリソースの有限性を考

慮して検討を行う。これにより、ネットワークリソースだけでなくノードのリソースの効率的利用も実現するアルゴリズムを設計する。さらに、様々なモデルのヴァリエーションについても検討を行った。

4. 研究成果

本研究では、DTN の数理モデルにおける情報伝播特性の解明、および効率的な蓄積転送に関するアルゴリズムの設計を行った。まず、DTN の数理モデルにおける情報伝播特性の解明に関して、ランダム・ウォークに関する理論を用いて情報伝播特性を調べた。その結果、情報収集時間分布の裾野が冪乗則に従った減衰をすること、およびノード数の増加に応じて冪指数が変化し、ノード数がある閾値を超えると平均効率が向上することを明らかにした。また、ノードが動きうる空間構造が有限領域ならば、情報収集時間分布の裾野が指数減衰することを示し、ノード数の増加や領域サイズに応じた緩和時間のスケール関係式の形を詳細に示した。さらに、空間がグラフ構造である場合、グラフ直径と情報収集時間の比例関係を明らかにした。これらの結果より、現実的な環境においては、伝染的な伝搬のみであっても効率的に情報伝搬が可能であること、空間構造から効率化するために導入が必要なセンサ・ノード数の特徴が明らかになった。次に、情報蓄積転送に関するアルゴリズムの設計について、ノード同士が近接した時のみ情報を伝搬させるだけでなく、遠距離をショートカットする固定ネットワークを組み合わせることにより、情報伝搬効率を向上させる方式について検討した。この方式の性能を最大限引き出すためのネットワーク設計法を離散最適化問題として定式化し、NP 完全性を示し、効率的なヒューリスティックアルゴリズムを提案した。また、近接した時のみ情報を伝搬させる機能を有する複数のノードがグラフ構造上を規則的に移動する場合の効率的な情報収集アルゴリズムを設計し、その有効性を評価した。さらにこれらを組み合わせることにより、未知のグラフ構造上を探索してその構造を推定する問題を扱った。これは災害時の建物内通行可能領域の推定などに適用することができる。この問題に対して、構造推定アルゴリズムを設計し、有効性を評価した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 24 件)

1 藤原明広, 巳波弘佳, Bluetooth&Wi-Fi モバイル無線通信実験とすれ違い頻度分布の冪乗則 ～ 一期一会の影響 ～, 信学技報, IN2010-167, pp.139-144, 2011, 査読無

2 小野司郎, 藤原明広, 巳波弘佳, 劣通信環境におけるノードの移動特性を考慮した中継転送方式, 信学技報, IN2010-168, pp.145-150, 2011, 査読無

3 小倉敬司, 巳波弘佳, ユーザの利用傾向に基づく非構造型自律形成 P2P ネットワーク制御, 信学技報, IN2010-206, pp.371-376, 2011, 査読無

4 中村亮太, 巳波弘佳, サーバとネットワークへの負荷集中を回避するサーバ配置, 信学技報, NS2010-295, pp.753-758, 2011, 査読無

5 Akihiro Fujihara, Hiroyoshi Miwa, Scaling relations of data gathering times in an epidemically data sharing system with opportunistically communicating mobile sensors, Intelligent Networking, Collaborative Systems and Applications, Springer, Chapter 9, pp.193-206, 2010, 査読有

6 巳波弘佳, 藤原明広, 下斗米貴之, 劣通信環境における情報収集とその構造推定への応用, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J93-B, No.12, pp.1575-1584, 2010, 査読有

7 Akihiro Fujihara, Masato Uchida, and Hiroyoshi Miwa, Universal Power Laws in the Threshold Network Model: A Theoretical Analysis Based on Extreme Value Theory, Elsevier Physica A, Volume 389, Issue 5, pp. 1124-1130, Mar., 2010, 査読有

8 Yuta Nakazono and Hiroyoshi Miwa, Exploration Algorithms by Multiple Robots in Challenged Communication Environment, Proc. International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2010), Third International Workshop on Information Network Design (WIND2010), pp.380-385, 2010, 査読有

9 Ryohei Dou, Akihiro Fujihara and Hiroyoshi Miwa, Algorithms for Base Node Location Problem in the Virtual Segment in Store-carry-forward Routing Schemes, Proc. International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2010), Third International Workshop on Information Network Design (WIND2010), pp.374-379, 2010, 査読有

10 Akihiro Fujihara, and Hiroyoshi Miwa, On two phase transitions of relaxation times in an epidemic data gathering with mobile peers on graphs, Proc. International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2010), Third International Workshop on Information Network Design (WIND2010), pp.329-330, 2010, 査読有

11 藤原明広, 巳波弘佳, 移動センサ感染型情報共有過程における情報収集の緩和時間, 信学技報, IN2009-182, pp.229-234, 2010, 査読無

12 中園雄太, 巳波弘佳, 劣通信環境下における効率的な地図構築のための群ロボット探索アルゴリズム, 信学技報, IN2009-189, pp.271-276, 2010, 査読無

13 下斗米貴之, 藤原明広, 巳波弘佳, 劣通信環境下における協調型地図推定, 信学技報, IN2009-190, pp.277-281, 2010, 査読無

14 花澤雄紀, 佐々木裕介, 巳波弘佳, 構造型 P2P ネットワークにおける次数制約付きブロードキャスト制御法, 信学技報, NS2009-207, pp.259-264, 2010, 査読無

15 Akihiro Fujihara, Yusuke Ide, Norio Konno, Naoki Masuda, Hiroyoshi Miwa, and Masato Uchida, Limit theorems for the average distance and the degree distribution of the threshold network model, Journal of Interdisciplinary Information Sciences, Vol.15, No.3, pp.361-366, 2009, 査読有

16 Akihiro Fujihara, and Hiroyoshi Miwa, Relaxation times of information collections in an epidemically information-sharing process with randomly moving sensors on bounded space, Proc. International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2009), Second International Workshop on Information Network Design (WIND'09), pp.360-365, 2009, 査読有

17 Ryota Nakamura, Akito Hashimoto, and Hiroyoshi Miwa, Methods of Locating Mirror Servers with High Connectivity and Small Distances, Proc. International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2009), Second International Workshop on Information Network Design (WIND'09),

pp.353-356, 2009, 査読有

18 Yuki Hanazawa, Yusuke Sasaki, and Hiroyoshi Miwa, Efficient Degree Constrained Broadcast Method on P2P Networks, Proc. International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS2009), Second International Workshop on Information Network Design (WIND'09), Barcelona, pp.347-352, 2009, 査読有

19 井手勇介, 藤原明広, 内田真人, 巳波弘佳, 増田直紀, 今野紀雄, 極値理論によるしきい値モデルの漸近解析, 第5回ネットワーク生態学シンポジウム, P21, 2009, 査読無

20 藤原明広, 内田真人, 巳波弘佳, 極値理論による閾値モデル解析と普遍的冪乗則, 信学技報, IN2008-176, pp.261-266, 2009, 査読無

21 藤井崇英, 巳波弘佳, 高速移動体へのコンテンツ配信制御方式, 信学技報, IN2008-202, Vol.108, No.458, pp.417-422, 2009, 査読無

22 堂亮平, 巳波弘佳, 蓄積運搬転送型通信を効率化する Virtual Segment 方式におけるベースノード配置法, 信学技報, NS2008-225, Vol.108, No.457, pp.463-468, 2009, 査読無

23 橋本明人, 巳波弘佳, 信頼性と効率性を考慮したサーバ群配置法, 信学技報, NS2008-163, pp.111-116, 2009, 査読無

24 藤原明広, 巳波弘佳, ランダムウォークの数理に学ぶ - DTN (Delay- and Disruption-Tolerant Network)における移動体無線通信と情報収集時間分布 - 電子情報通信学会誌平成20年10月号小特集記事 (情報通信ネットワークの設計・制御理論の新潮流 --- 異分野からのアプローチ), pp.881-885, 2008, 査読有

[学会発表] (計2件)

① Akihiro Fujihara, ZebraNet and its Theoretical Analysis on Distribution Functions of Data Gathering Times, ACM MobiOpp 2010, Pisa, Italy, Feb. 23, 2010

② 藤原明広, 巳波弘佳, ZebraNet と情報収集時間: 確率モデルによるアプローチ, 白色雑音とアルゴリズムに関する確率論, 福岡教育大学 Sep. 1, 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

已波弘佳 (MIWA HIROYOSHI)
関西学院大学・理工学部・准教授
研究者番号：40351738

(2) 研究分担者

藤原明広 (FUJIHARA AKIHIRO)
関西学院大学・理工学研究科・博士研究員
研究者番号：70448687

内田真人 (UCHIDA MASATO)
九州工業大学・ネットワークデザイン
リサーチセンタ・准教授
研究者番号：20419617