

通信ネットワーク工学科石井研究室

分散ネットワークシステムの高効率、高品質構成法に関する研究

石井 啓之^{*1}, 宇津 圭祐^{*2},

Ishii Laboratory, Department of Communication and Network Engineering
- Research on Distributed Networking System with High Efficiency and Performance -
by

Hiroshi ISHII and Keisuke UTSU

(received on June 11, 2010 & accepted on June 30, 2010)

Abstract

Ishii Laboratory at Department of Communication and Network Engineering, School of Information and Telecommunication Engineering, Tokai University was born in April, 2003 at Department of Communication Engineering, School of Electronics and Information, Tokai University. Since then, Ishii laboratory has been tackling with the research on the distributed networking environment. This paper introduces Ishii laboratory from several points of view such as history, technical achievements, funds got from external organizations, and outline of research topics that are being tackled now.

Keywords: Ad hoc network, Contents discovery, Secure communication, High quality

1. はじめに

情報通信学部通信ネットワーク工学科石井研究室は、2003年4月に当時の電子情報学部コミュニケーション工学科内に発足した。以来、一貫して、分散ネットワーク環境の高効率化、高信頼化についての研究を行ってきた。本稿では、石井研究室の沿革と現在の研究状況について述べたものである。

2. 研究室概要

2.1 沿革

(1) 発足(2003年度)

石井研究室の理念は、通信と情報の融合により、新しい価値を創造する「通信・情報ネットワーク環境」の創出である。2003年4月に、石井啓之教授の東海大学への新規採用に伴い、当時の電子情報学部コミュニケーション工学科第13研究室として発足した。2003年9月に初めての卒業研究生を2名迎え、本格的な研究室として動き出した。

(2) 企業との共同研究(2004-2005年度)

2004年度はNTT研究所の委託研究により、ネットワーク遅延に基づく最適経路選択法、2005年度は、同じくネットワークにおけるユーザ行動の分析など、個別の課題で共同研究を行い、企業との交流による学生の育成にも力を入れた。

(3) 国からの大型委託研究(2006年度以降)

2006年度に、筑波大学、NTT研究所と共同提案した、「ア

ドホックユビキタス通信環境向きデータ駆動ネットワークングプロセッサの研究開発」が、総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度研究主体育成型研究開発(SCOPE-R)に高い競争率の中採択され、2008年度までの3カ年にわたり研究を行い、大きな成果を上げて終了した。この中で、博士課程の学生が本テーマに深く関わり、それにより学位を得ている。修士課程の学生も国際会議で発表するなど研究室の成長の時期であった。

続いて2007年度には、文科省傘下の科学技術振興機構(JST)の競争的研究資金である、戦略的創造研究推進事業(CRESTタイプ)にも「超低消費電力化データ駆動ネットワークングシステム」(筑波大学、高知工科大学との共同研究)のテーマが採用され、現在も精力的な研究を推進している。これに関係しても多くの著名学会論文誌や国際会議に投稿し、採用されている。

また、2007年度には、日本学術振興会科学研究費補助金を、「複数情報源・複数記述符号化方式による画像情報発見転送方式(基盤研究C)」を獲得し、2010年度には、研究室の博士課程学生が日本学術振興会の特別研究員に採用され、同時に科学研究費補助金を「アドホックネットワークにおける効率的情報配信に関する研究」のタイトルで獲得している。

このように、当研究室は、外部からも研究内容とその可能性が認められ、多くの委託研究費、補助金を獲得でき、またそれにより研究もより活性化している状況である。

2.2 数字で見る石井研究室

(1) 学生数の推移

Table 1にセメスター毎の学生数の推移を示す。

(2) 研究業績の推移

詳細は、<http://ishiilab.net/achievements.html>に詳しいが、石井研究室の発足以来の研究業績について、その数についてTable 2にまとめる。

*1 情報通信学部通信ネットワーク工学科教授・専門職大学院組込み技術研究科教授

*2 総合理工学研究科総合理工学専攻

Table 1 在籍学生数の推移

| セメスタ | 学部卒研学生 ()内は留学生 | 修士課程学生 ()内は留学生 | 博士課程学生 ()内は留学生 |
|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 2003 秋 | 2 | | |
| 2004 春 | 10 | | |
| 2004 秋 | 10 | 1 | |
| 2005 春 | 11 | 4 | 1(1) |
| 2005 秋 | 10 | 4 | 1(1) |
| 2006 春 | 12 | 5 | 1(1) |
| 2006 秋 | 13(1) | 4 | 1(1) |
| 2007 春 | 13(1) | 2 | 1(1) |
| 2007 秋 | 12 | 2 | 1(1) |
| 2008 春 | 8 | 3 | |
| 2008 秋 | 9 | 3 | |
| 2009 春 | 7 | 2 | 1 |
| 2009 秋 | 7(1) | 2 | 1 |
| 2010 春 | 9(1) | 1(1) | 1 |

Table 2 研究業績の推移

| 年度 | 査読付 ジャーナル論文 ()内は海外誌 | 査読付 国際会議 | 東海 大学 紀要 | 特許 出願 | 研究会 | 大会 |
|------|----------------------------|-------------|----------------|----------|-----|----|
| 2003 | 1 | 3 | | | | |
| 2004 | 1 (1) | | | | | 3 |
| 2005 | | 5 | 1 | | 2 | 6 |
| 2006 | | 5 | | | 6 | 4 |
| 2007 | 3 (1) | 14 | | | 8 | 5 |
| 2008 | 1 | 7 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 2009 | 2 | 8 | 3 | 1 | 6 | 3 |
| 2010 | 1 | 5 | | | | |

(3)表彰など

- ・2007年度 (2件)
 - PDPTA2007 Ten Best Paper Award (石井啓之)
 - PDPTA2007 Ten Best Student Paper Award (Chow Chee Onn)
- ・2009年度 (2件)
 - 平成22年度日本学術振興会特別研究員DC2採用 (宇津圭祐)
 - 松前重義賞・学術部門 (石井啓之)

(4)獲得研究資金額(研究直接費のみ、別途30%の間接費あり)

現在までに、下記のように、累積で約7,000万円の研究直接費を外部から獲得し、結果としてその30%の約2,100万円の間接費を東海大学にもたらしている。

- ・2004年度：70万円 (NTT)
- ・2005年度：100万円 (NTT)
- ・2006年度：390万円 (総務省)
- ・2007年度：1,300万円 (総務省, JST, 学振)
- ・2008年度：2,120万円 (総務省, JST, 学振)
- ・2009年度：1,630万円 (JST, 学振)
- ・2010年度：1,420万円 (JST, 学振)

2.3 石井研究室の日々

石井研における卒業研究テーマの選定は、完全に卒研生の自主性に委ねられ、代々テーマを引き継ぐ発想を持たない。卒研生はそれぞれの工夫によりテーマを見つけ取り組まねばならない。テーマが何年も引き継がれるということが無いため、卒研生の自由裁量が前面に押し出される。これは逆に卒研生に大きなプレッシャとなっている。このような伝統の中から独創的なテーマがいくつか発掘されている。

高輪に新校舎ができるまでは、決まった時間のゼミも行わず、必要に応じて小グループまたはひとりで必要な情報を収集し、先輩や教員と個別に議論する方法をとってきた。

毎夏、研究合宿を行い、中間発表を行っている。



Fig.1 夏合宿での研究発表風景

テーマの進捗状況によっては4年生から学会発表も行っている。修士課程の学生は必ず国際会議へ投稿することにしており、従来在籍した全ての大学院生は、複数回、海外で発表している。



Fig.2 PDPTA国際会議での学生の発表風景

また、NTTなど企業との共同研究では実際に週に1、2度企業に出向き、デスクを用意いただいて議論に参加するなど、積極的な対外活動も行わせてきた。

3. 現在の研究状況

以下に、現在の研究テーマについて、その概略を述べる。

現在の中心となる研究対象は、無線アドホックネットワーク (Mobile Ad Hoc Network: MANET)である。MANETは、インターネットなどのインフラを必要としない、またはインフラが使用できない場合に有用なネットワーク構築法として注目を浴びている。MANETに関して、これまででは、主にOSI参照モデルの物理レイヤに対応する電波干渉の問題、レ

イヤ2に対応するMAC(Media Access Control)プロトコルや、同じくレイヤ3に対応するルーティングプロトコルなどといった、ネットワーク構成技術を中心にした要素技術の研究が行われてきた。研究の焦点は今後、より実用面のフィールドに移行する必要がある。しかしながら、MANETの実用化に向けて、従来から数多くの課題が指摘されている。

3.1 MANETの課題

(1)ネットワーク内情報発見

MANETは参加・離脱が自由な分散ネットワークであることから、固定的なサーバノードの存在の仮定が困難であり、ネットワーク内の各ノードが持つ情報を集中管理することが困難である。そのため、ほかのノードがどのような情報、コンテンツを有しているのかを見出す(発見する)手法が必要である。またアドレスとドメイン名の変換を行うDNS(Domain Name System)が機能せず、各ノードアドレスも互いに未知である可能性が高い。特に、災害時には、他ノードアドレスが未知のまま、他ノード保持情報の発見が必要となる可能性が高く、重要な課題となる。

(2)セキュリティの確保

MANETでは、直接電波が届かない相手に対しては、電波到達範囲内のノードが仲介して中継再送信を行うことにより情報を伝達(マルチホップ)している。そのため、見知らぬ他人が情報に簡単にアクセスできる可能性がある。このように、MANETでは、ネットワークに参加しているメンバーの本人性や信頼度の管理が十分できない。すなわち、セキュリティをどのように確保するかは実用化上の大きな課題となっている。

(3)転送品質の確保

(1)で述べたように、MANETは、無線を媒体とすること、中継ノードが移動することなど、不安定なネットワークであるため、一定の通信品質を確保することが困難である。特に災害時に望まれる動画や音声などの連続的情報の転送を安定して実現することは大きな課題である。

(4)放送形式転送の効率化

また、特定の相手を指定せず、状況を放送的にネットワーク内に配布するアプリケーションも災害時には重要となってくる。しかし、放送はネットワークのリソースを多く消費する危険性が高く、効率化が必要である。

石井研究室では、これらの問題点について検討し、高効率で高品質なMANETの実現法の確立をめざしている。

以下3.2から3.5に、その要素技術の概要を示す。

3.2 GPSを用いた目的情報発見方式

災害時において、ユーザがその位置から離れている被災地域、避難所、および自宅など(目的地)に関して、その被災状況を知りたいという要望が大きい。従来、MANETにおいて、ネットワーク内のノードが目的情報所有ノードを発見するために、単純フラッディングによりネットワーク全体に放送的に問い合わせる方法がある。しかし、フラッディングの多用は、冗長な送受信が増加しネットワークに負荷を与えることになる。また、ノードは一般的に電池駆動であるため、電池消費を加速させることになり好ましくない。そこで我々は、“目的地に関する情報を持つ目的情報所有ノードは、その目的地の近傍に存在している可能性が高い”という考えに基づき、GPS(Global Positioning System)を用いた効率的な目的情報発見方式を提案している¹⁾。

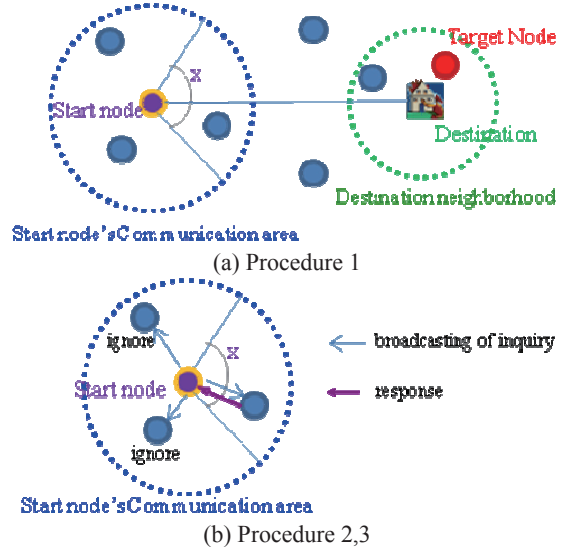


Fig.3 Outline of the GPS-aided Information Discovery

Fig.3に、手順の概要を示す。

手順1: 目的地の状況を知りたい始点ノードは電波範囲内に、目的地の位置座標を表示した問い合わせパケット(inquiry)で目的地に関する情報の保有の有無を問い合わせる。

手順2: 問い合わせを受けた周辺ノードのうち、Fig.3の角度 x 内に存在するノードのみ、自分と目的地との距離を計算し、始点ノードに返す。

手順3: 始点ノードはもっとも目的地と距離が近いノードに問い合わせの継続を依頼する。

以上を繰り返すことにより、目的地の状況を知る目的地近傍のノード(ターゲットノード)からの情報提供を期待する方式である。

ネットワークシミュレーションにより、ランダムに情報問い合わせ先を選ぶ方式と提案方式の手数の大小を比較したところ、提案方式がランダム方式の約10%方式に手数を減らすことができた。また一切の制御を行わない単純フラッディング問い合わせと提案方式の総パケット数を比較すると、角度 x の大きさによるが半分程度のパケット数を減らすことができた。

3.3 信頼関係リストに基づく公開鍵分散管理方式

MANETにおいても場合によっては、情報発見の後、安全(セキュア)な通信が必要とされる。しかし、暫定的なネットワークという特徴から、信頼できる第三者機関の認証局・登録局が存在せず、固定インフラでセキュリティ対策として使用されている公開鍵基盤を適用することができない。そのため、MANET上で使える分散型公開鍵管理方式が必要となる。本論文では、信頼関係リストに基づき効率的な公開鍵管理方式を検討し、従来方式のリソース消費課題の解決をしている²⁾。

提案方式では、各ノード自身で管理する証明書は自身が発行された証明書と自身が発行した証明書とする。そして、通信相手と暗号化通信を行う時点で、信頼関係リストに基づき証明書を収集し、信用の輪を構築する。信頼関係リストとは、証明書の所有関係(証明書の発行ノードと発行されたノードのアドレス情報、以下、信頼関係情報)を表記したテキストベースのリストである。従来方式では、この関係にあるノード間で相互の全ての証明書を収集する必要があったが、本方式では、信頼関係のみを収集するため、劇的に通信量を減らすことができる。

Table 3 Example of trust relationship information

| Trust relationship information | | | | | |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| A→B | A→C | B→A | B→E | B→D | C→D |
| C→F | D→F | E→G | F→D | G→F | |

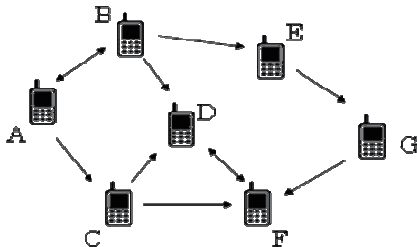


Fig.4 An example model of trust relationship

従来方式に対し、提案方式では通信相手と暗号化通信を行わない時のみ公開鍵証明書を収集する。Table 3, Fig.4 を用いてノード A が信用の輪を構築してノード G を認証し、暗号通信を開始するまでの手順を説明する。Fig.4 の矢印は根本のノードから先のノードへ信頼していることを表す。Table 3 はノード A が作成した信頼関係リストとする。

自身の持つ信頼関係リストより被認証ノードまで信用の輪を構築できるか検索する。認証要求ノードを A、被認証ノードを G とすると Table 3 の信頼関係リストより A→B→E→G と信用の輪が繋がることが確認できる。次に信用の輪の構築に必要な各ノードに対して、ユニキャストで証明書要求の packets を送信し、証明書を送信してもらう。Fig.4 においては認証要求ノード A がノード E、G に対してそれぞれの証明書要求の packets を送信し、証明書を収集する。公開鍵の正当性を確認するため、その公開鍵に対しての電子署名を確認する。認証要求ノード A は公開鍵の正当性を確認するため、公開鍵 E に対して署名をしているノード B の公開鍵を用いて復号化する。続いて公開鍵 G に対して、上記で得た公開鍵 E によって、G の証明書に対する E の電子署名を検証することにより、公開鍵 G の正当性を確認する。ここで信用の輪に基づきノード G の公開鍵の正当性を確認できたため、ノード A はこの公開鍵を用いてノード G と暗号化通信を行うことが可能となる。Fig. 5 にコンピュータシミュレーションによる方式評価結果を示す。劇的に通信量 (パケット数) を減らすことに成功している。

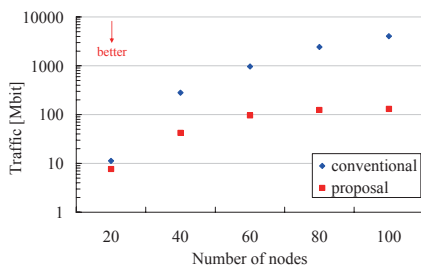


Fig.5 Conventional method vs. proposal (comparison of total amount of traffic)

3.4 品質保持型動画ストリーミング方式

災害時等においてはアドホックネットワークを用いて、動画を転送する状況が想定される。しかし、アドホックネットワークは無線媒体を用いるため、通信品質の劣化が生じやすい。このため、パケット損失が品質に大きく影響する動画転

送に関しては、品質の保持が困難であった。この問題を解決するため、我々は以下の解決策を検討している³⁻⁴⁾。まず、情報発信源で得られた情報を何らかの方法によりネットワーク内に分散格納しておき、情報を必要とするノードは、上記の情報発見方式により、それらの送信点 (目的ノード) を発見し、それらの中から複数を選択し、情報を送信させ、それをもとの情報に再現する、これにより、できるだけ情報の再現確率が高くなるような転送方式を確立している。

特筆すべきはこの提案につきコンピュータシミュレーションで有効性を示したにとどまらず、実機によるテストベッドでその有効性を追試している点にある (Fig. 6)。

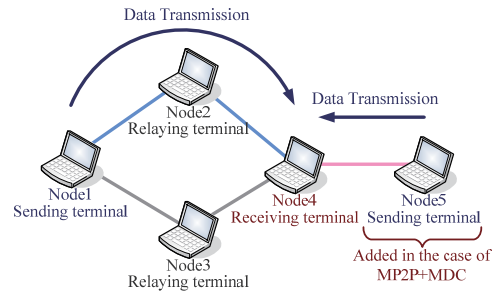


Fig.6 Testbed configuration

3.5 負荷状況を考慮した放送型情報配信方式

災害時等においては、被災状況等を動画あるいは音声といった形態で、即時にネットワーク全体に配信する状況が想定される。しかし、従来のフラディングを適用した場合、冗長な中継再送信 (再ブロードキャスト) が多発し、情報の到達性に問題が生じる。また、ノードの負荷状況が考慮されていないため、特定のノードが過負荷となり、通信品質劣化の要因となる。そのため、ノードの負荷状況を考慮し、高い情報到達率を確保しつつ、冗長な再ブロードキャストを削減する方式を現在鋭意検討している⁵⁾。

4. まとめ

情報通信学部通信ネットワーク工学科石井研究室の概要について述べた。継続して外部機関との共同研究、委託研究を行い、高い研究アクティビティを示してきている。今後、さらに検討を深化させるとともに優秀な学生の育成を行いたい。

参考文献

- 1) N. Fukushi, K. Utsu, H. Ishii, "Information Discovery Mechanism using GPS over MANET", PDPTA2009, pp.616-621, 2009
- 2) H. Kawabata, H. Ishii, "Evaluation of Self-Organizing Key Management Framework Based on Trust Relationship Lists", PDPTA2009, pp.609-615, 2009
- 3) C.O. Chow and H. Ishii, "Enhancing Real-Time Video Streaming over Mobile Ad Hoc Networks using Multipoint-to-Point Communication," Elsevier Computer Communications, Vol.30, issue 8, pp.1754-1764, June 2007.
- 4) 宇津圭祐, チャウチーオン, 石井啓之, "アドホックネットワークにおけるMDCを用いたMP2P動画転送による動画転送品質向上に関する検討", 電気学会論文誌C, pp.1431-1437, 2008
- 5) K. Utsu, C.O. Chow, H. Nishikawa, H. Ishii, "Load-aware Effective Flooding over Ad Hoc Networks", pp.602-608, PDPTA2009, pp.602-608, 2009