

計算機ネットワークの自己組織化メカニズムの構成的研究
— アドホックネットワークにおける自律分散的秩序形成メカニズムについて —

Constructive Study on Self-Organization Mechanism
of Computer Networks

— Autonomous Decentralized Mechanism for Ad-hoc Network Organization —

吉田 紀彦 (大学院理工学研究科・教授)

Norihiko Yoshida (Professor,
Graduate School of Science and Engineering)

要旨

次世代ネットワークは、全体を把握する中央メンバのない状態で、各メンバが自律的・分散的に自らの挙動を決め、結果として何らかの秩序形成がなされる系として実現することが必須となる。そこで、その実現に向けて研究を進め、特にアドホックネットワークという自律分散型ネットワークについて、シミュレーション実験で実現性と有効性を示した。この成果は、別に実際のインターネット上の情報共有配信ネットワークにもさっそく応用を開始し、予備実験で性能や効果などを確認している。

1 はじめに

アドホックネットワークとは、ルータや基地局のようなネットワークインフラを必要とせず、端末(ノード)のみによりその場的に構築されるネットワークである。アドホックネットワークは、ノードの移動性やネットワークの「その場的」な発生を想定しているため、目的のノードとの安定した通信を確立するには、経路制御は重要な要素である。

端末のみによって自律的に構成されるアドホックネットワークでは、特定のネットワーク設備を必要としないため比較的容易に柔軟性に富んだネットワークが構築可能である。しかし一方で、ルータのようなネットワーク全体の構成を把握して経路制御を行うものが存在しないために、端末自身が経路情報を取得しそれをもとに通信を行わなければならない。したがってどのように経路制御を行うかが重要な問題となってくる。

現在までにアドホックネットワークのために多くの経路制御プロトコルが提案されているが、アドホックネットワークはその柔軟性からネットワークの形状が様々であり、それらのどのプロトコルが最適であるかは適用するネットワークによって変わってくる。さらに、そもそもアドホックネットワークとはその場的(アドホック)に構成されるものであって、ネットワークの形状や状況などは事前に把握することが難しく、一度構築された後にも端末の移動や通信頻度などにより常に変化してしまう。

本研究ではこれらの問題に対応する手段として、ネットワークの開始後にネットワークの状況にあわせて動的に手法を変化させ、ネットワークに適した制御を行う適応型の経路制御を提案し、その設計を行った。すなわち、アドホックネットワークへクラスタを導入することが、フラッディング

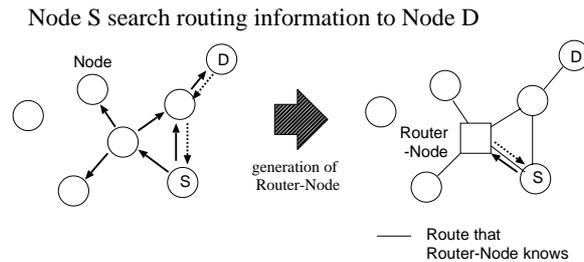


図 1 クラスタヘッドの動的発現

の抑制やノードが保持すべき経路情報量の抑制といった点で有効である。しかし、アドホックネットワークが、ノードの移動などによりトポロジが常に変化するという特徴を持っているため、クラスタを固定的に形成することは困難である。そこで、本研究ではネットワークの開始後にクラスタを動的に形成させる方式についての提案と設計を行った。

2 クラスタヘッドの動的発現

まず初期状態ではリアクティブ型で経路制御を行う。リアクティブ型での問題は、探索パケットのフラディングによりトラフィック量が増え、ネットワークの負荷増大を招くことにある。そこで提案手法では、各端末が自分の周りのトラフィックの状況を観測し、必要に応じて自らをクラスタヘッド（ルータ端末）に格上げし周りの端末を結びつけ、これらの端末がクラスタヘッドを中心とした経路制御に切り替わることでこの問題を防いでいる。つまり、トラフィック量が増大しリアクティブ型では効率が悪い状態になった場所にはクラスタヘッドが動的に生成し、その周囲の端末が直接クラスタヘッドに問い合わせを行うことで、トラフィック量の減少につながりネットワーク負荷を抑えられる仕組みとなっている。

この方式では、分散的に経路情報（完全ではない）を持つクラスタヘッドが配置されることになり、これは全ての端末がネットワーク内の完全な経路情報を持つプロアクティブ型と、基本的に必要となるまで経路情報を持たないリアクティブ型との中間の形をとる。またその間でどの程度の位置をとるかは、クラスタヘッドの存在個数つまりはトラフィック量によるため、ネットワークの状況によって動的に決定されることになる。

3 クラスタの動的形成

クラスタヘッドとなるノードが選出されたならば、クラスタを次のような手順で形成していく。

まずネットワーク内で、あるノードがクラスタヘッドとして選出されると、クラスタヘッドは自分の周囲 1 ホップを自分のクラスタ内に取り込む。クラスタに取り込まれたノードにおいて通信の要求が発生したときは、クラスタヘッドへ目的のノードへの経路を問い合わせる。クラスタヘッドが要求された経路情報を保持していれば、その経路を要求元へ返すが、経路情報を保持していなければ、要求元のノードは Reactive 型のフラディングによる経路探索を行う。

その後、クラスタは周囲のノードを 1 つずつ取り込んでいき、徐々に拡大していく。クラスタは一定の大きさになるか、クラスタが別のクラスタと接触するまで大きくなっていく。クラスタ同士

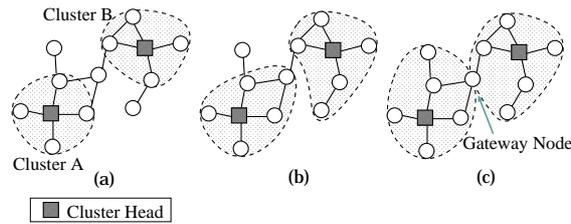


図 2 クラスタの動的形成

が接触した場合、クラスタ間の境界にあるノードがそれぞれのクラスタヘッドへ他方のクラスタヘッドの存在を通知する。この境界ノードはゲートウェイノードの役割を果たし、クラスタヘッドは他のクラスタヘッドと通信を行うことができるようになる。クラスタヘッドが他のクラスタヘッドと通信を行うことができれば、一方のクラスタヘッドが保持していない経路情報をもう一方のクラスタヘッドへ問い合わせることができる。これにより、クラスタヘッドに経路を問い合わせたときに経路が見つかる確率が高まり、フラッディングの発生が抑制できる。

4 おわりに

本研究ではネットワークの状況にあわせて動的に制御手法を変化させ対応する適応型経路制御の設計を行った。この手法は、リアクティブ型を基礎とするためプロアクティブ型に比べ経路維持のための負担は少なく、リアクティブ型で問題となる経路探索パケットのフラッディングによるトラフィック量増大を軽減することもできる。また、制御手法を決定づける基準が実際のネットワークの挙動に依存することになるこの手法においては、ネットワークが開始される前に少ない情報からプロトコルを選択せざるを得ない従来手法よりも、よりネットワークに適した経路制御が行えると考えられる。

そして、選出された代表ノードをクラスタヘッドとして、動的にクラスタを形成していく方式の提案と設計を行った。クラスタは、クラスタヘッドが保持する経路情報の範囲を制御できることや、フラッディングの発生を抑制できるといった利点を持っている。提案方式は、選出されたクラスタヘッドを中心に徐々にクラスタが形成されていく設計となっており、固定的なクラスタの構築が困難であるアドホックネットワークでクラスタを形成することに適していると考えられる。一方、提案方式の初期では各クラスタは独立しており、フラッディングが多くなると考えられる。しかし、クラスタが拡大し、接触すると、クラスタ同士が通信を行えるようになり、フラッディングが抑制されていくと考えられる。

関連外部資金

1. 日本学術振興会科学研究費 基盤研究 (B)(一般)「インターネット負荷変動に動的に追従する適応型コンテンツ配信ネットワークの研究」、平成 17~19 年度、5,200,000 円
2. 文部科学省科学研究費 萌芽研究「高信頼性ピアツーピアシステムの実現に向けた基礎的研究」、平成 17~18 年度、2,400,000 円
3. 文部科学省科学研究費 特定領域「情報爆発 IT 基盤」研究「大規模分散情報共有・配信に向

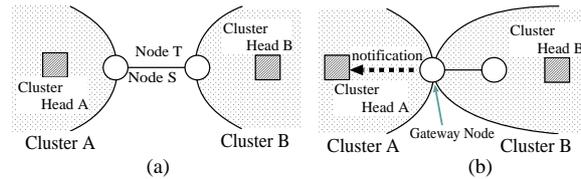


図3 クラスタの成長

けた適応型ピアツーピアシステムの研究」, 平成 18 年度, 3,300,000 円 (平成 18 年度から 5 年間の研究課題だが 1~2 年毎に申請が必要)

関連業績

1. 佐藤, 吉田, “ピアツーピアシステムにおける不正ノードの動的回避方式”, 情報処理学会/電子情報通信学会 情報科学技術レターズ, Vol.4, pp.307-309 (September, 2005)
2. 川崎, 吉田, “ピアツーピアシステムにおけるコンテンツ複製配置の最適化”, 情報処理学会/電子情報通信学会 情報科学技術フォーラム 2005 論文集, Vol.4, pp.95-97 (September, 2005)
3. 澤村, 吉田, “アドホックネットワークの経路制御における動的クラスタリング”, 情報処理学会/電子情報通信学会 情報科学技術フォーラム 2005 論文集, Vol.4, pp.129-130 (September, 2005)
4. 川崎, 佐藤, 吉田, “P2P ネットワークにおけるコンテンツの人気度を反映した複製配置”, インターネットコンファレンス 2005 論文集, pp.106-113, 東京 (October, 2005)
5. T. Sato, Y. Uchida, and N. Yoshida, “Dynamic Search Redirection in Adaptive P2P System”, Proc. 4th Int'l Conf. on Communications, Internet and Information Technology, 6 pages (CD-ROM) (October, 2005)
6. C. Pan, M. Atajanov, M. B. Hossain, T. Shimokawa, and N. Yoshida, “FCAN: Flash Crowds Alleviation Network”, Proc. ACM 21st Annual Symp. on Applied Computing, pp.759-765, Dijon, France (April, 2006)
7. C. Pan, M. Atajanov, M. B. Hossain, T. Shimokawa, and N. Yoshida, “FCAN: Flash Crowds Alleviation Network Using Adaptive P2P Overlay of Cache Proxies”, IEICE Trans. on Communications, Vol.E89-B, No.4, pp.1119-1126 (April, 2006)
8. Y. Kawasaki, N. Matsumoto, and N. Yoshida, “Popularity-based Content Replication in Peer-to-Peer Networks”, Lecture Notes in Computer Science, Springer, No.3994, pp.436-443 (May, 2006)
9. T. Shimokawa, N. Yoshida, and K. Ushijima, “Server Selection Mechanism with Plugable Selection Policies”, Systems and Computers in Japan, Wiley, Vol.89, No.8, pp.53-61 (July, 2006)
10. K. Tanaka, N. Matsumoto, and N. Yoshida, “Adaptive Router Promotion in Ad-hoc Networks”, Proc. 2nd IFIP Int. Symp. on Network-Centric Ubiquitous Systems, Seoul, Korea, pp.1-10 (August, 2006)