

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

— 並行秩序形成における組織間相互作用について —

Constructive Study on Self-Organization Mechanism of Computer Networks

— Interaction between Organizations in Concurrent Self-Organization Process —

吉田 紀彦 (大学院理工学研究科・教授)

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

1 はじめに

次世代ネットワークは、系全体を把握する中央メンバのない状況で、各メンバの自律的な挙動から、全体として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。この目標に向けて前年度までの研究をさらに発展させ、特に複数系の相互作用の自律的構成に焦点を当てて研究を進め、(1) アドホックネットワークに基づく自律型ネットワークについて、および(2) 実インターネット上の情報共有配信ネットワークについて、方式を詳細に検討・設計してシミュレーション実験で効果を確認した。また、(3) ネットワーク設計の方法論構築に向けた検討を開始した。ここでは特に(1)、(2)について成果を報告する。

2 アドホックネットワークにおける複数系の自律的相互作用

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。

アドホックネットワークの経路制御方式の多くは、最短路もしくは最短路に近い経路を構築する。しかし、これらの経路構築方式では、ノードのネットワークリソースにかかる負荷が考慮されず、負荷の高いノードを含んだ経路を用いて通信を行うと、メディアアクセスの競合やパケットの衝突に起因して、平均伝送遅延が増加するという問題が発生する。

現在、このような問題を解決するために、経路制御により競合や衝突の多発する負荷の高いノードを回避した経路を構築することで、負荷を分散させる方式が提案されている。しかし、これらの方式はユニキャスト通信を前提として議論がなされており、マルチキャスト通信においても、ユニキャスト通信と同様に負荷の偏りの問題は発生する。

そこで、本研究では分散型の負荷分散経路制御方式を応用し、マルチキャスト通信におけるネットワークリソースにかかる負荷を分散させる方式を提案した。本研究ではマルチキャスト配送構造として、送信元ノードをルートとしたマルチキャストツリーを使用し、提案方式において、負荷分散はマルチキャストグループへの新メンバの参加と、サブツリーの張り替えという2つのフェーズ

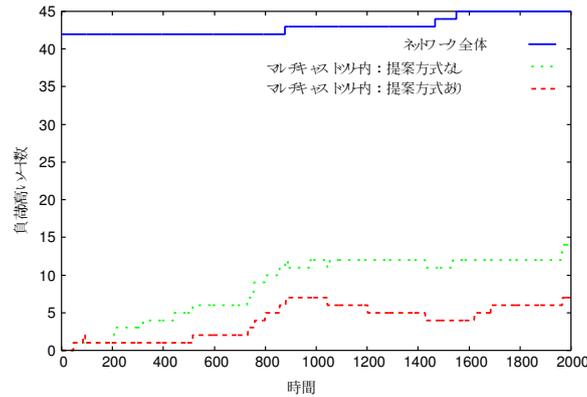


図 1 高負荷ノード数の推移

により達成され、負荷の高いノードを回避したマルチキャストツリーが構築される。

提案方式の有効性を示すために、シミュレーション実験を行い、提案方式を用いた場合と用いない場合を比較し、提案方式を用いた方が負荷の高いノードを回避したマルチキャスト配送構造が構築できることを示した(図 1)。

3 インターネット上の情報共有配信ネットワーク

インターネット上の情報共有や配信の効率化に向けて、複数サーバを広域に配置して連係させ、クライアントからのアクセスを分散させることで、サーバ負荷およびネットワーク負荷を軽減しようとするネットワーク技術が、コンテンツ配信ネットワーク(CDN)として、実用化され始めている。しかし、これまでのように静的・固定的に CDN を構成するのでは、時々刻々に変化する負荷状況に十分に対応できず、予想最大負荷を越えた場合には破綻し、逆に低負荷時には無駄が生じる。

本研究では、負荷が突発的に急上昇する「Flash Crowds」と呼ばれる現象に特に注目し、負荷変動に適応的に追従できるネットワークの構築法を考える。そして、クライアントとサーバの間に介在する複数のキャッシュプロキシ(以下、単にプロキシと略す)で、P2P に基づくネットワークを適応的に構成し、そこで負荷を分散吸収する新しい方式として、Flash Crowds に対抗するための適応型ネットワーク「FCANng」(Flash Crowds Alleviation Network (next generation)) を提案した。サーバが Flash Crowds の到来を検知すると、複数のプロキシから一時的なネットワークを構築し、クライアントからのアクセスを、サーバからプロキシ・ネットワークに振り向ける。そして、Flash Crowds が去ったならば、このネットワークを解放する。

各プロキシには、各サーバに対する優先順位をあらかじめ付与しておく。そして、サーバに Flash Crowds が到来した最初の時点では、本システムに係わる全てのプロキシでなく、ある一定の優先順位までのプロキシのみでネットワークを構成する。そして、Flash Crowds がさらに増大したならば、低い優先順位のプロキシをネットワークに動的に追加していく。なお、優先順位はサーバごとにできるだけ異なるように付与し、動的にプロキシ追加する際にも、サーバごとのネットワークができるだけオーバーラップしないよう、各プロキシの負荷を把握した上で選ぶ。

設計の実現性や妥当性を検証するために、シミュレータを作成して実験を行った。このシミュレータはネットワークのアプリケーション層だけでなく TCP や UDP の層からシミュレートでき、

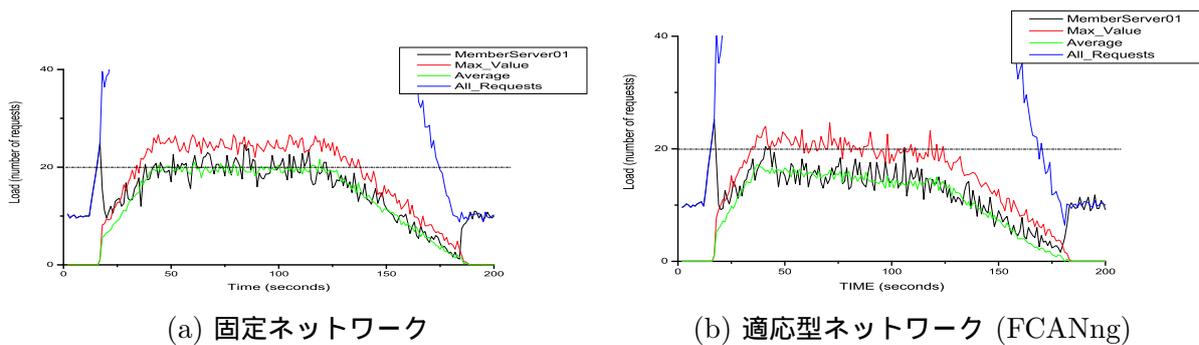


図 2 アクセス負荷の推移

より現実に近い実験を可能にしている。そして、実際に過大なクライアント・アクセスを生成して、ネットワークが全体として期待どおりに適応的に遷移すること、ネットワーク上で負荷分散がなされて、キャッシュプロキシごとの負荷が一定限度以下に抑えられることなどを検証した(図2)。

関連外部資金

1. 文部科学省科学研究費 特定領域「情報爆発 IT 基盤」公募研究, 「大規模分散情報共有・配信に向けた適応型ピアツーピアシステムの研究」, 平成 19~20 年度, 6,000,000 円 (平成 18 年度から 5 年間の研究課題だが 1~2 年毎に採否審査あり)
2. 奨学寄附金, (株) 半導体理工学研究センター, 平成 18 年度, 250,000 円
3. 奨学寄附金, 富士通 LSI テクノロジ (株), 平成 18 年度, 1,000,000 円

以下は継続:

4. 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
5. 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

関連業績

1. C. Pan, M. Atajanov, M. B. Hossain, T. Shimokawa, N. Yoshida, “FCAN: Flash Crowds Alleviation Network”, Proc. ACM 21st Annual Symp. on Applied Computing, pp.759-765 (Apr., 2006)
2. N. Matsumoto, N. Yoshida, S. Narazaki, “Cooperative Active Contour Model and Its Application to Remote Sensing”, Proc. ACM 21st Annual Symp. on Applied Computing, pp.44-45 (Apr., 2006)
3. C. Pan, M. Atajanov, M. B. Hossain, T. Shimokawa, 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 (Apr., 2006)

4. Y. Kawasaki, N. Matsumoto, N. Yoshida, "Popularity-based Content Replication in Peer-to-Peer Networks", *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, No.3994, pp.436-443 (May, 2006)
5. T. Shimokawa, N. Yoshida, K. Ushijima, "Server Selection Mechanism with Pluggable Selection Policies", *Systems and Computers in Japan*, Wiley, Part III, Vol.89, No.8, pp.53-61 (Jul., 2006)
6. R. Yamasaki, K. Kobayashi, N. A. Zakaria, S. Narazaki, N. Yoshida, "Refactoring-Based Stepwise Refinement in Abstract System-Level Design", *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, No.4096, pp.712-721 (Aug., 2006)
7. K. Tanaka, N. Matsumoto, N. Yoshida, "Adaptive Router Promotion in Ad-hoc Networks", *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, No.4097, pp.1-10 (Aug., 2006)
8. M. Atajanov, C. Pan, T. Shimokawa, N. Yoshida, "Scalable Cloud of Cache Proxies for Flash Crowds Alleviation Network", *Int. Trans. on Communication and Signal Processing*, Vol.8, No.1, pp.59-70 (Aug., 2006)
9. 山崎, 小林, N. A. Zakaria, 榎崎, 吉田, "システムレベル設計へのアスペクト指向技術の応用", *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.5, pp.29-32 (Sep., 2006)
10. K. Kobayashi, R. Yamasaki, M. Kimura, N. A. Zakaria, N. Yoshida, S. Narazaki, "Stepwise Refinement Design from Abstract Specifications Applied to Sequence Control Systems", *Int. Trans. on Computer Science and Engineering*, Vol.33, No.1, pp.21-32 (Sep., 2006)
11. N. Matsumoto, N. Yoshida, S. Narazaki, "Curvature Multi-Snake: Cooperative Snakes with Curvature-Based Simple Modeling", *Proc. Int. Workshop on Advanced Image Technology 2007*, pp.632-637 (January, 2007)
12. K. Sato, N. Matsumoto, N. Yoshida, "Dynamic Avoidance of Illegal Nodes in Gnutella-like Pure P2P Networks", *Proc. Bi-Annual Symposium on Communication in Distributed Systems 2007*, pp.163-168 (Mar., 2007)
13. K. Kobayashi, T. Shiraishi, N. A. Zakaria, R. Yamasaki, N. Yoshida, S. Narazaki, "Exploration of Communication Models in the Design of Distributed Embedded Systems", *IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering*, Vol.2, No.3, pp.402-404 (May, 2007)
14. 佐藤, 松本, 吉田, "複数キーワード検索に対応した分散ハッシュ型 P2P ネットワーク", *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.6, 掲載決定 (Sep., 2007)
15. 吉田, 松本, 吉田, "P2P ネットワークにおけるノード信頼性評価の効率化", *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.6, 掲載決定 (Sep., 2007)
16. N. Matsumoto, N. Yoshida, S. Narazaki, "Improvement of Active Contour Model with Decentralized Cooperative Processing and Its Application to Remote Sensing", *Int. J. of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems*, in press (2007)
17. T. Sawamura, K. Tanaka, M. Atajanov, N. Matsumoto, N. Yoshida, "Adaptive Router Promotion and Group Forming in Ad-hoc Networks", *Int. J. of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, accepted (2008)