

研究種目：基盤研究 (B)
研究期間：2006～2009
課題番号：18360181
研究課題名 (和文) 大規模分散型コンテンツ検索・配信ネットワークに関する研究
研究課題名 (英文) Research on Large-Scale Distributed Content Discovery and Delivery Networks
研究代表者 高橋 豊 (TAKAHASHI YUTAKA)
京都大学大学院情報学研究科・教授
研究者番号：00135526

研究成果の概要 (和文)：有線・無線ネットワークを介したコンテンツ検索・配信システムの通信品質(QoS)評価に向けた数理モデルおよびその性能解析手法の開発を行った。性能評価量としては送信遅延、パケット/フレーム・ロス確率を取り上げた。またリアルタイム性の高いコンテンツおよび同報性のあるコンテンツ配信においてはバッファ溢れと送信誤りによるパケット送信障害に備えたパケットレベルでの forward error correction(FEC)が有効であり、その性能解析法を開発した。

研究成果の概要 (英文)：We developed mathematical models and performance analysis methodologies to evaluate the quality of service (QoS) of large-scale content discovery and delivery systems. In terms of those models, we evaluated the transmission delay and packet/frame loss probability as performance measures. We also evaluated the effectiveness of packet-level forward error correction (FEC) which plays a key role for quick recovery from possible packet losses caused by buffer overflow and transmission error while carrying real-time traffic and one-to-many traffic.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2007 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2008 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：情報システム

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：ネットワーク・LAN、トラヒック、コンテンツ、性能評価

1. 研究開始当初の背景

メール、Web、音声、動画など多岐に亘るコンテンツの流通を可能とする安定した情報流通ネットワーク基盤の構築が求められており、誰もが情報の発信・取得を、自由、

平等、快適、安全に行えるサステナブルなネットワーク社会の実現を目指していた。このためには自己組織化機能をもち、自律分散型のコンテンツ超流通ネットワーク基盤構築の開発が待望されていた。

2. 研究の目的

本研究では、特定の情報源に依存することなし（ブローカレス）にコンテンツの流通を可能とする情報流通ネットワーク基盤の構築に必要な、コンテンツの管理および流通に関連した一連の研究開発を行うことであった。すなわち、良質な情報がネットワークを介して有効に共有できる大規模で自律分散型のコンテンツ検索・配信ネットワーク基盤を構築する方法論を開発することに目的があった。

3. 研究の方法

- (1) 超分散情報検索アルゴリズムの開発と性能評価
- (2) オーバレイ・ネットワークの自己組織化アルゴリズムの開発と評価
- (3) 大規模ネットワーク型アプリケーションへのオーバレイ・ネットワーク技術の応用と性能評価
- (4) リッチコンテンツ配信のための符号化技術と性能評価
- (5) ピアツーピア通信のトラフィック量推定と制御方式の開発

4. 研究成果

(1) 大規模ネットワーク型アプリケーションにおいては多数のクライアントからのアクセスがサーバへ集中し、サーバの処理の遅滞、トラフィック集中による輻輳など、利用者の増大により非線型的に性能が低下し、スケーラビリティの確保が困難になる。これをオーバレイ・ネットワーク技術で解決するための方法論に関する基礎研究を行った。まず実時間性への要求、利用者数、コンテンツ量などで高い基準を必要とするアプリケーションとして、ネットワーク型ゲームを例にとり、アクセスの集中に関する処理負荷とトラフィックの実測データを収集し、統計的特徴を抽出した。さらにコンテンツ管理、首尾一貫性・セキュリティの確保、処理の各ピアへの委譲の度合いなど具体的な数々の問題発掘を行い、その解決策を提案し、その性能評価を行った。

(2) 多人数へのコンテンツ配信においては、エンドユーザのネットワーク環境は多様であり、通信速度のみならず、モバイル/ワイアレスアクセスの普及によりパケット損失率の差も拡大しつつある。通信品質を確保するには再送は必定であるが、局所的な通信環境の劣化に合わせた再送のためにネットワーク全体のトラフィック量が爆発的に増大する可能性があり、スケーラブルなネットワーク構成を困難にしている。Forward Error Correction (FEC) はこれを解決する有望な方

法論の1つであり、ネットワークにおける送信誤りの時間的空間的変動に応じて耐損失強度を適応的に制御することが期待されている。ネットワークの誤り属性値、FECの耐損失強度とコンテンツを構成する各ブロックの通信品質との関係を求めるために待ち行列モデルでモデル化を行い、性能解析を行った。

(3) ネットワークを介してマルチメディア・トラフィックを送信するには利用可能帯域を各トラフィックに公平に割り当てるのが困難になる。スループットは各ノードに流入する総トラフィック量および各種トラフィックの混合比を考慮したパケット送出順序に大きく依存する。このためのパケット・スケジューリング・アルゴリズムを提案し、その有効性を既存アルゴリズムと比較して示した。

(4) 実時間制約のあるコンテンツ配信においては、経路上でのパケット廃棄に対処するには再送では良好なQoS確保が難しく、代替として事前にFECによる冗長度を付加して起こり得る廃棄に備えるのが望ましい。しかし冗長度を高めるとトラフィック量が増加し、経路上でのパケット廃棄が悪化する要因ともなりうる。所望のQoSを確保するための最適な冗長度を決定するトラフィック・モデルを開発し、送信するコンテンツ総量、FEC冗長度、パケット廃棄確率、受信コンテンツのQoSの関係を明らかにする性能解析手法を導出した。

(5) オーバレイ・ネットワークを介したファイル検索・共有システムのトラフィック・モデルを開発し、その性能解析を行った。

(6) インターネットを介した放送型コンテンツ配信における再生待ち時間を取り上げ、1) 同報型、2) 選択的視聴型 の2つの場合に関して待ち時間短縮手法を提案し、その性能評価を行った。

(7) P2P型情報流通ネットワークにおいて、高い検索効果を実現する論理的接続トポロジーの構成法を提案した。

(8) 多人数参加型オンライン・アプリケーション・サービスにおけるP2P型分散処理において必須であるデータとプログラム・コードの秘匿化手法を開発した。

(9) 無線ネットワーク環境下での階層的符号化されたビデオ・コンテンツ送信における送信誤り回復のための能動的再送方式とパケット・スケジューリング・アルゴリズムの提案を行った。

(10) オーバレイ・ネットワークにおいては論理層と物理層でのルーティングにおけるトポロジー不整合が起り、エンド・エンド間の性能に影響を及ぼす。これを評価する数理モデルを開発し、不整合の度合いが少ないほど送信遅延が短く、論理層でのトラヒック集中は物理層のトポロジーに関わらず送信遅延の増大を招くことを示した。

(11) スケーラブルなコンテンツ配信サービスを提供するには高速ネットワーク・インフラが不可欠であるが、そのための基盤技術として光バースト交換方式がある。この数理モデルと性能解析手法を開発した。

(12) P2P 型インターネット電話においては中継を司るスーパーノード群と一般ノード群が分散型ネットワークを構成するが、この数理モデルの開発と性能解析を行い、群構成比率が性能に与える影響および集中型ネットワークに対するスケーラビリティでの優位性を解析的に示す。

(13) コンテンツ配信をマルチホップ無線ネットワークで行うにはネットワークのトポロジーに依存したホップ数に起因する QoS 不平等性が大きな問題である。この影響度合いを理論的に解明するために数理モデルを開発し、解析を行った。

(14) 有線・無線ネットワークにおけるビデオ・ストリーミングサービスにおいてバッファ溢れと送信誤りによるパケット送信障害に forward error correction (FEC) を用いた場合の回復性能を評価するために数理モデルを構築し、その性能解析法を開発した。

(15) コンテンツ配信におけるボトルネック・ルータでのブロック・ロスの評価する数理モデルを提案し、その性能解析法を示した。モデルではバックグラウンド・トラヒックを考慮し、ルータのバッファ・サイズおよび配信ブロックの FEC 冗長度がブロックの連続ロス数に及ぼす影響を解析的に評価した。

(16) ネットワークにおけるパケット送信遅延などの性能をアクティブ計測する際のモニタリング時間長に関して数理的考察を行った。ランダムネスを除去しながら、トラヒックの本質的变化を速やかに検知するには最適な計測時間長の設定が重要であるが、これを理論的に決定するためのペリオドグラムに基づく方式提案を行った。

(17) マルチホップ無線 LAN におけるコンテンツ配信においては、送信オーバーヘッドを低

減するために複数パケットを纏めて送信するバースト転送方式が有望視されている。この方式による帯域使用効率、スループットおよびバッファ内滞留パケット数を評価するために、数理モデルを示し、性能解析を行った。

(18) マルチホップ無線 LAN においては各ノードのネットワーク内の物理的配置によりフロー間のスループットが不均衡になる問題がある。これを解決するために、IEEE802.11 の MAC 層を変更することなく実装が可能なパケットスケジューリング方式を提案し、その性能評価を行った。

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 28 件)

K. Daikoku, H. Masuyama, T. Takine, Y. Takahashi, "Algorithmic Computation of the Transient Queue Length Distribution in the BMAP/D/c Queue," Journal of the Operations Research Society of Japan, vol. 50, No. 1, pp. 55-72, 2007

Tetsuji Yamaguchi, Yutaka Takahashi, "A Queue Management Algorithm for Fair Bandwidth Allocation," Computer Communications, vol. 30, no. 9, pp. 2048-2059, June 2007.
DOI link:

Yusuke Uchida, Sei Sunahara, Eisaburo Itakura, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, Yutaka Takahashi, "Proactive Retransmission and Buffer Management for Layered Video Transmission over Wireless Channel," IEICE Trans. Commun., vol. E91-B, no. 9, pp. 2897-2906 (2008).

Keiichi Endo, Minoru Kawahara, Yutaka Takahashi, "Encoding for Secure Computations in Distributed Interactive Real-time Applications," Computer Communications, Vol. 31, No. 9, pp. 1679-1686 (2008).

遠藤慶一, 最田健一, 川原稔, 高橋豊 「コンテンツ類似度に基づいた P2P ネットワークの自己組織化アルゴリズム」電子情報通信学会論文誌, Vol. J91-D, No. 6, pp. 1494-1505, 2008.

Yasuo Tamura, Shoji Kasahara, Yutaka Takahashi, Satoshi Kamei, and Ryoichi

Kawahara, ``Inconsistency of Logical and Physical Topologies for Overlay Networks and Its Effect on File Transfer Delay," Performance Evaluation, vol. 65, pp. 725-741(2008).

後藤 佑介, 義久 智樹, 金澤 正憲, 高橋 豊
「インターネット放送のための分割放送型
配信システムの設計と実装」電子情報通信学
会論文誌 電子情報通信学会論文誌 B,
Vol.J92-B, No.01, pp.353-362 (2009).

Tuan Phung-Duc, Hiroyuki Masuyama, Shoji
Kasahara, and Yutaka Takahashi, ``M/M/3/3
and M/M/4/4 Retrial Queues," Journal of
Industrial and Management Optimization
(JIMO), vol. 5, no. 3, pp. 431-451(2009).

Tomoya Tainaka, Hiroyuki Masuyama, Shoji
Kasahara and Yutaka Takahashi, ``A
Markovian Approach to Per-Flow Throughput
Unfairness in IEEE 802.11 Multihop
Wireless Networks," Journal of Industrial
and Management Optimization (JIMO), vol.
5, no. 3, pp. 493-510(2009).

Tuan Phung-Duc, Hiroyuki Masuyama, Shoji
Kasahara, and Yutaka Takahashi,
``Performance Analysis of Optical Burst
Switched Networks with Limited-Range
Wavelength Conversion, Retransmission and
Burst Segmentation," Journal of the
Operations Research Society of Japan
(JORSJ), vol.52, no.1, pp.58-74(2009).

後藤 佑介, 義久 智樹, 金澤 正憲, 高橋 豊
「選択確率を考慮した選択型コンテンツの
放送型配信における待ち時間」情報処理学会
論文誌, vol.50, no.2, pp.882-892(2009).

Shun Muraoka, Hiroyuki Masuyama, Shoji
Kasahara and Yutaka Takahashi, "FEC
Recovery Performance for Video Streaming
Services over Wired-Wireless Networks
Performance Evaluation," Performance
Evaluation, vol.66, pp.327-342(2009).

Kazuhiko Kuraya, Hiroyuki Masuyama, Shoji
Kasahara, Yutaka Takahashi,
"Decentralized User Information
Management Systems for Peer-to-Peer
Communication Networks: An Approach by
Nonstationary Peer-Population Process,"
Ubiquitous Computing and Communication
Journal, vol. CSNDSP, Sept. 2009.

Yusuke Gotoh, Tomoki Yoshihisa, Masanori

Kanazawa, Yutaka Takahashi, ``A
Broadcasting Protocol for Selective
Contents Considering Available
Bandwidth," IEEE Trans. on Broadcasting,
vol.55, no.2, June pp.460-467(2009).

Kensaku Wakuda, Shoji Kasahara, Yutaka
Takahashi, Yoshinobu Kure, Eisaburo
Itakura, ``A Packet Scheduling Algorithm
for Max-Min Fairness in Multihop Wireless
LANs," Computer Communications, vol. 32,
nos. 13-14, pp. 1437-1444(2009).

Hozumi Kawanami, Hiroyuki Masuyama,
Takuji Tachibana, Shoji Kasahara and
Yutaka Takahashi, ``Burst Transmission
Algorithm to Improve Packet Level
Performance in Contention-Free Slotted
OBS Networks," Photonic Network
Communications (to appear).

Tuan Phung-Duc, Hiroyuki Masuyama, Shoji
Kasahara and Yutaka Takahashi,
``State-dependent M/M/c/c + r retrial
queues with Bernoulli abandonment,"
Journal of Industrial and Management
Optimization (JIMO) (to appear).

Tatsuaki Kimura, Kentaro Daikoku,
Hiroyuki Masuyama, Yutaka Takahashi,
``Light-tailed Asymptotics of Stationary
Tail Probability Vectors of Markov Chains
of M/G/1 Type," Stochastic Models (to
appear).

[学会発表] (計 21 件)

Keiichi Endo, Minoru Kawahara and Yutaka
Takahashi, ``A Proposal of Encoded
Computations for Distributed Massively
Multiplayer Online Services," Proc. of ACM
SIGCHI ACE2006(International Conference
on Advances in Computer Entertainment
Technology), June 14-16, 2006, Hollywood,
USA.

Shun Muraoka, Hiroyuki Masuyama, Shoji
Kasahara, and Yutaka Takahashi,
``Performance Analysis of FEC Recovery
Using Finite-Buffer Queueing System with
General Renewal and Poisson Inputs," To be
presented in 20th International
Teletraffic Congress (ITC-20 2007),
Ottawa, Canada, 17-21, June 2007, LNCS4516,
Springer-Verlag, pp. 707-718, 2007.

Shoji Kasahara, Yasuo Tamura and Yutaka
Takahashi, ``Performance Analysis of File

Sharing Services Based on Flooding Search for Overlay Networks," Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference 2007 (ATNAC 2007), Christchurch, New Zealand, pp. 209-214, 2-5 December 2007.

Kazuhiko Kuraya, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, and Yutaka Takahashi, "Performance Analysis of Decentralized User Information Management System for Peer-to-Peer Real-Time Communication Services," Proc. of The 6th International Symposium on Communication Systems, Network and Digital Signal Processing (CSNDSP08), Graz, Austria, 23-25 July 2008, pp 520-524(2008).

Yusuke Gotoh, Tomoki Yoshihisa, Masanori Kanazawa, Yutaka Takahashi, "A Scheduling Method to Reduce Waiting Time Considering Transition Probability for Selective Contents Broadcasting," IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems 2008 (ISWCS' 08), 21-24 October 2008, Reykjavik, Iceland.

Katsunori Ori, Takafumi Okuyama, and Yutaka Takahashi, "On Appropriate Interval for Active Measurement of Packet Transmission Delays," 21st International Teletraffic Congress (ITC21), Paris, France, September 15-17, 2009.

Yusuke Inoue, Keiichi Endo and Yutaka Takahashi, "A distance-aware forwarding protocol for beaconless communication in mobile ad hoc networks and its performance," International Wireless Internet Conference, March 1-3, 2010, Singapore.

Kouta Kato, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, and Yutaka Takahashi, "Analysis of Consecutive Block-Loss for Streaming Services," IEEE ICC2010 (to be presented).

Takashi Yazane, Hiroyuki Masuyama, Shoji Kasahara, and Yutaka Takahashi, "End-to-End Throughput Analysis of Multihop Wireless Networks with Network Coding," IEEE ICC2010 (to be presented).

[図書] (計 3 件)

1. Luigi Fratta, Henning Schulzrinne, Yutaka Takahashi, Otto Spaniol:

NETWORKING 2009, 8th International IFIP-TC 6 Networking Conference, Aachen, Germany, May 11-15, 2009 Proceedings, Lecture Notes in Computer Science LNCS 5550, Springer, June(2009).

2. Wuyi Yue, Yutaka Takahashi, Hideaki Takagi, Advances in Queueing Theory and Network Applications, Springer, Cambridge, MA, December(2008).

3. Luigi Fratta, Henning Schulzrinne, Yutaka Takahashi, Otto Spaniol: Guest Editors for a fast track in the Computer Communications (COMCOM) Journal, Elsevier, dedicated for Networking2009. (to appear).

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

名称:「データ通信システム, データ送信装置, データ送信方法. データ受信装置およびデータ受信方法」

発明者:板倉英三郎, 砂原星, 高橋豊, 笠原正治, 増山博之, 内田祐介

権利者:京都大学、ソニー

種類:特許出願

番号:特願 2006-242187

出願年月日:2006年9月6日

国内外の別:国内

名称:「データ通信システム, データ送信装置, データ送信方法. データ受信装置およびデータ受信方法」

発明者:板倉英三郎, 砂原星, 高橋豊, 笠原正治, 増山博之, 内田祐介

権利者:京都大学、ソニー

種類:特許出願

番号:PCT/JP2007/066917

出願年月日:2007年8月30日

国内外の別:国外

発明名称:マルチホップ無線端末およびそのマルチホップ無線端末におけるトラフィック制御方法

発明者:久礼嘉伸, 板倉英三郎, 高橋豊, 笠原正治, 和久田兼作

権利者:京都大学、ソニー

種類:特許出願

番号:PCT/JP2009/051074

出願年月日:平成21年1月23日

国内外の別:国外

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 豊 (TAKAHASHI YUTAKA)
京都大学・大学院情報学研究科・教授
研究者番号：00135526

(2) 研究分担者

川原 稔 (KAWAHARA MINORU)
愛媛大学・総合情報メディアセンター・准教授
研究者番号：50224829

笠原 正治 (KASAHARA SHOJI)
京都大学・大学院情報学研究科・准教授
研究者番号：20263139

増山 博之 (MASUYAMA HIROYUKI)
京都大学・大学院情報学研究科・助教
研究者番号：60378833

安達 直世 (ADACHI NAOTOSHI)
関西大学・工学部・助教
研究者番号：10335490

佐々木 隆志 (SASAKI TAKASHI)
愛媛大学・総合情報メディアセンター・助教
研究者番号：50452686

遠藤 慶一 (ENDO KEIICHI)
愛媛大学・理工学研究科・助教
研究者番号：10467847