

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 30 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21360180

研究課題名（和文） 高機能ノードの効率的な運用を実現する新しい経路制御方式に関する研究

研究課題名（英文） A study of efficient routing on high-functional nodes network

研究代表者

酒井 善則（SAKAI YOSHINORI）

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：70196054

研究成果の概要（和文）：

単なるパケット転送以外の様々な通信品質制御を実行可能な高機能ノードが、ネットワーク内部に存在することを前提として、たとえ迂回経路となっても、高機能ノードを効率的に利用可能とする経路を設定することにより、アプリケーションからみた通信品質のさらなる向上を実現する、高機能ノードのプロトコル動作への着目という今までにない新しい設定指針を取り入れた、新しい経路制御アルゴリズムの研究開発を行った。

研究成果の概要（英文）：

High-functional nodes can perform not only packet forwarding but also various QoS controls or protocols such as packet loss detection, and fast recovery from packet loss, etc. On this research, new routing methods are researched and developed for improving QoS from the viewpoint of application on high-functional nodes network, even though a conventional shortest path is not constructed but an indirect path.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2010 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2011 年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：工学

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

1. 研究開始当初の背景

IP 網における End-to-End 原則に見られるように、様々なトランスポート機能は End ノード間で実現し、ネットワーク上の途中ノードは、純粋にパケット転送に特化すべきとする考え方が、これまでは一般的であった。しかし、双方向ライブストリーミングのように、送受信間で許容される遅延時間に厳しい

制約が存在する場合には、ネットワーク内でパケットロスが発生した場合の再送処理を送信側からやり直しては間に合わない場合もあり得る。従って、そのような厳しい遅延制約を持つストリームに生じるパケットロスを回復するための再送制御は、End-to-End 原則に反してでも、ネットワーク内部の途中ノードの役割とせざるを得な

い。

この観点から研究代表者らは、単なるパケットの転送だけを行う従来型のノードに対して、計算処理能力の向上に伴い、パケット転送以外の様々な処理を実施できる「高機能ノード」が実用化されていくことを見越して、ネットワークの一部に設置された高機能ノードが、適切に送受信間で行われるトランスポートプロトコルの処理を中継することにより、送受信間の通信品質を向上させる、適応プロトコル中継の研究をこれまでに遂行してきた。特に、ライブメディアストリーミングの品質向上を目的とした高機能ノードの研究では、送受信ノードだけでなく、通信経路上の一部に存在する高機能ノードもパケットロスを検出し、経路上の高機能ノード間で再送処理を行うことで、即座に損失データを回復させ、高機能化したことにより生じる高機能ルータの処理遅延の増加を考慮しても、送受信間の遅延減少を実現している。

しかしこれらの研究では、事前に設定された経路上にあらかじめ存在する高機能ノードしか利用できないため、経路上の高機能ノードの存在位置によっては、高機能ノードを機能させても送受信間の通信特性改善があまり得られないケースが見受けられた。このことより、特に高機能ノードがネットワークの一部に存在する状況では、迂回経路となっても適切な位置に高機能ノードが存在する経路を経由した方が、かえって通信特性が改善されるケースが存在するため、単に遅延が小さい経路を設定するのみならず、設定される経路中に高機能ノードをより多く含み、かつ、その存在位置や存在間隔も考慮に入れた、従来にない新しい経路設定法の検討を行う必要がある。

2. 研究の目的

最短経路など従来型の経路制御では、高機能ノードを有効活用できない経路を設定してしまう可能性がある。一方、アプリケーションにとっては、自身に適した通信品質でデータが到着することが重要であり、通信が行われる経路は、問題とはならない。

以上をふまえ本研究では、たとえ迂回経路となっても、高機能ノードを効率的に利用可能とする経路を設定することにより、アプリケーションからみた通信品質のさらなる向上を実現する、高機能ノードのプロトコル動作への着目という今までにない新しい設定指針を取り入れた、新しい経路制御アルゴリズムに関する研究開発を行う。

3. 研究の方法

本研究では、検討対象プロトコルとして、本研究の成果がより一般的に利用可能となるように、特定の既存実装プロトコルではな

く、各高機能ノードが各パケットごとにパケットロスを検出し、パケットロス発生時には直近の高機能ノードにNAKを送信し再送をしてもらう、非常に単純化された一般的な高機能ノード間での誤り検出再送プロトコルの動作を想定する。

経路設定にあたって、従来行われてきた最短経路は、ネットワーク上にただ一つしかないため発見が容易であり、Dijkstra法などの効果的な探索アルゴリズムが存在する。それに対し、本研究で取り扱う経路制御は、必ずしも最短経路を経路設定に用いるとは限らないため、送受信間で経路候補が無数に存在することとなり、新規に送受信間で経路設定を行うのは容易ではない。しかし、何らかの新たな指標を各リンクに与えることにより、プロトコルの動作を考慮した上での最短経路問題に帰着することが出来れば、れば、既存の効率的なアルゴリズムにより、最短経路は容易に求めることが可能である。

そこで本研究では、送受信間の経路を自由に新規設定する場合に、高機能ノードが効果的に機能し送受信間の通信品質向上を実現する効率的な経路設定を容易に実現するために、遅延やパケット廃棄率などこれまでに利用されてきたリンク評価値に替わる、高機能ノードの動作を前提とした新しいリンク評価値を設計し、このリンク評価値を用いた効率的な新規経路設定法の検討を行う。

本研究では、問題を簡単にするために、ネットワーク上の全ノードが高機能ノードの場合を対象として、高機能ノードの動作を前提とした新しいリンク評価値の設計を行う。ネットワーク上の全ノードが高機能ノードの場合には、全てのリンクに接続されている隣接ノードは高機能ノードとなるため、各リンクごとに独立にリンク評価値を設定することができる。そこで本研究では、従来リンク評価値として用いられてきた遅延やパケット廃棄率に加え、本研究で対象としている高機能ノードの動作を考慮して、送受信ノード間でのアプリケーションが設定する許容遅延時間などを総合的に取り入れた、新しいリンク評価値の設計を行う。

設計した新しい評価値については、既存のリンク評価値として、遅延、パケットロス率、およびリンクに接続されている高機能ノード間で誤り検出再送動作により生じる、遅延とパケットロスを考慮したリンクで生じる平均遅延(遅延の期待値)、の3つを比較対象とし、各リンク評価値を用いて最短経路を構成した場合に実現される通信品質について、提案リンク評価値の有効性を比較検討する。

4. 研究成果

高機能ノードが存在するネットワークでは、伝送にかかる遅延だけでなく、再送によ

る遅延も考慮し、経路構成をする必要がある。そこでまず、高機能ノードの再送処理を考慮し、遅延だけでなく、パケットロス率及び許容遅延時間を考慮した新たなリンクコストの定義を行った。

あるリンクでの許容時間は、送受信間の経路が構成されていれば、その経路の各リンクの遅延情報から設定が可能であるが、リンク評価値算出時には、送受信間経路を予測することは困難である。そこであるリンクでの許容時間が0から送受信感での許容遅延の会田で一樣に生じると仮定することにより、パケットが許容遅延時間以内にリンクを通過する確率の対数を用いて、リンク評価値を定義した。このリンク評価値を各リンクごとに導出し、ダイクストラ法などの最短経路問題を解くアルゴリズムに適用することで、高機能ノードの再送処理を効率的に行い、許容遅延時間制約を満足可能な経路構成を行う。

しかし理論検討の結果、このリンク評価値では、送受信間の許容遅延時間が大きいときには、適切な経路を構成可能であるが、許容遅延時間が小さいときには、かえってアプリケーションレイヤロス率の高い、不適切な経路を構成してしまう場合が見受けられた。

そこで、この問題点を解決するために、現実には、1つのリンクで許容される遅延が0や許容遅延に近い値を取る確率は低く、平均値付近で確率が極大となることに着目し、リンク評価値の改善を行ったが、それほどの改善は見られなかった。これは、一般的なネットワークの状況として、end-to-end遅延が小さい経路もあれば、許容遅延時間いっぱい遅延を有する経路も存在するため、本来なら、個々の経路の遅延に着目するべきであるにもかかわらず、1リンクあたりの許容遅延の分布を、統計的平均としてリンク評価値組み入れているため、これが、アプリケーションレイヤロスが高くなる経路を構成する原因と考えられる。

そこで、各々のリンクで生じる遅延に着目した、新たな経路構成法の検討を行った。リンクの遅延は、そのリンクの伝送遅延、伝搬遅延だけでなく、高機能ノードの再送処理によって生じる再送遅延も考慮する必要がある。すなわち、1リンクあたりの遅延は、パケットロス率の影響により確率分布となる。また、各リンクで生じる遅延とパケットロス率は、どのリンクに対しても独立に発生する。したがって、パケットが送信されてから受信されるまでに生じるトータルの遅延は、各リンクの遅延の確率分布の畳み込み積分で表わされる。これらを考慮しながら、送信ノードから各ノードに至るまでの経路の中で、伝送成功率の最も高くなるノードを選択しながら、全域木を構成するアルゴリズムを構成した。検討の結果、この方式により高機能ノ

ードによるライブストリーミング通信の品質向上を実現する経路構成が可能であることが明らかになった。

最後に、提案方式が比較方式よりもアプリケーションレイヤロス率の高い経路、すなわち伝送成功率の低い経路を構成してしまう場合に関して、考察を行った結果、ダイクストラ法、ベルマンフォード法またはワーシャルフロイド法のような従来の閉路を許さない最短経路探索アルゴリズムでは、本研究の最適経路探索が困難であることが明らかになり、従来法とは異なる、閉路も許容する新しい最適経路探索アルゴリズムを検討する必要があることが、明らかになった。

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7件)

査読付学術雑誌掲載論文

- [1] “An access-point selection algorithm for user QoS and system optimization based on user cooperative moving”, Sumiko Miyata, Tutomu Murase and Katsunori Yamaoka, IEICE Transactions on Communications, Vol. E95-B, No. 6, pp. 1953-1964 (2012)
- [2] “A Basic Study of the Flow Admission Control of Mixed Loss and Delay System Based on Equality of Heterogeneous Traffic”, Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, IEICE Transactions on Communications, Vol. E95-B, No. 3, pp. 832-844 (2012)
- [3] “Flow-admission control based on equality of heterogeneous traffic (two-type flow model)”, Sumiko MIYATA, Katsunori YAMAOKA, IEICE Transactions on Communications, Vol. E93-B, No.12, pp.3564-3576 (2010)
- [4] “Reducing total call-blocking rates by flow admission control based on equality by heterogeneous traffic”, Sumiko MIYATA, Katsunori YAMAOKA, HTE Infocommunications Journal, pp.27-34, VOLUME LXV (2010)
- [5] “Single-Fiber Access/Metro WDM Ring Architecture for Asymmetric Traffic Applications in Next Generation Networks”, Mitsumasa Okada, Katsunori Yamaoka, Yoshinori Sakai, IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, Vol. 27. No.9. pp. 1181-1196 (2009)

- [6] “A Solution for Irregular IP Multicast Packet Flooding -For Heavy Traffic IP Multicast Communication-“, Makoto Misumi, Shin-ichi Nakagawa, Ken-ichi Chinen, Yoichi Shinoda, Katsunori Yamaoka, IEICE Transactions on Communications, Vol.E92-B, No.1, pp.68-76 (2009)
- [7] “Local Optimal File Delivery Scheduling in a Hop by Hop File Delivery System on a One Link Model”, Hiromi Tsurumi, Takamichi Miyata, Katsunori Yamaoka, Yoshinori Sakai, IEICE Transactions on Communications, Vol.E92-B, No.1, pp.34-45 (2009)

〔学会発表〕 (計 20 件)
査読付国際会議

- [1] “Characteristic analysis of an access-point selection for user throughput and system optimization based on user cooperative moving”, Sumiko Miyata, Tutomu Murase and Katsunori Yamaoka, Proc. of IEEE CCNC (by CD-ROM), 2012.1.16, Las Vegas
- [2] “An access-point selection algorithm for user QoS and system optimization based on user cooperative moving”, Sumiko Miyata, Tutomu Murase and Katsunori Yamaoka, Proc. of IEEE NoF 2011 (by CD-ROM), 2011.11.29, Paris
- [3] “Characteristic analysis of individual call blocking rate and resource utilization by using our mixed delay and loss system”, Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, Proc. of IEEE CQR2011 (by CDROM), 2011.5.11, Naples
- [4] “Path Configuration Using Probability Distribution of Delay for High-Functional Node Network”, Takayuki Akanoma, Takamichi Miyata, Katsunori Yamaoka, Yoshinori Sakai, Proc. of IEEE CCNC2011 (by CDROM), 2011.1.11, Las Vegas
- [5] “A basic study of the flow admission control of mixed loss and delay system based on equality of heterogeneous traffic”, Sumiko MIYATA, Katsunori YAMAOKA, Proc. of NETWORKS2010, pp.29-34, 2010.9.28, Warsaw
- [6] “Routing for reducing flow convergence on particular nodes”, Toshihiro Yokoi, Takamichi Miyata, Katsunori Yamaoka, Proc. of IEEE CQR2010 (by CDROM), 2010.6.10, Vancouver
- [7] “Ethernet Bypass Nodes as Suspended Link Activators on Tagged-VLAN Disabled Ethernet Switches”, Makoto Misumi, Katsunori Yamaoka, Proc. of IEEE ICC2010 (by CDROM), 2010.5.26, Cape Town
- [8] “Maximum-bandwidth ALM tree on tree network”, Takamichi Kikkawa, Takamichi Miyata, Katsunori Yamaoka, Proc. of IEEE CCNC2010 (by CDROM), 2010.1.11, Las Vegas
- [9] “Transparent Unicast Translation to Improve Quality of Multicast over Wireless LAN”, Yuki Tanigawa, Kenta Yasukawa, Katsunori Yamaoka, Proc. of IEEE CCNC2010 (by CDROM), 2010.1.11, Las Vegas
- [10] “A threshold configuration for flow-admission control based on the equality (two-type flow model)”, Sumiko MIYATA, Katsunori YAMAOKA, Proc. of IEEE CCNC2010 (by CDROM), 2010.1.11, Las Vegas
- [11] “A basic study of heterogeneous flow admission control based on equality of flow classes”, Masahiro KAWANO, Sumiko MIYATA, Katsunori YAMAOKA, Proc. of IEEE CCNC2010 (by CDROM), 2010.1.11, Las Vegas
- [12] “Proof of optimal algorithm for maximum-bandwidth ALM tree construction”, Takamichi Kikkawa, Takamichi Miyata, Katsunori Yamaoka, Proc. of IEEE CQR2009(by CDROM), 2009.5.10, Naples (Best Paper Award)

国内学会等

- [13] “経路候補数を制限したフロー集中抑制経路設定法”, 横井俊宏, 宮田高道, 山岡克式, 電子情報通信学会 IN 研究会, vol. 110, no. 449, pp. 73-78, 2011.3.3, 沖縄
- [14] “要求帯域が分布に従う環境でのフロー間対等二元受付制御特性”, 木村拓人, 宮田純子, 山岡克式, 電子情報通信学会 IN 研究会, vol. 110, no. 449, pp. 079-084, 2011.3.3, 沖縄
- [15] “即時待時混合二元受付制御のトータル呼損率特性解析”, 宮田純子, 山岡克式, 電子情報通信学会 IN 研究会, no. IN2010-109, pp.69-74, 2010.12.17, 広島
- [16] “遅延の確率分布を用いた高機能ノード

- ネットワーク経路制御法”, 赤野間貴之, 宮田高道, 山岡克式, 酒井善則, 電子情報通信学会 IN 研究会, no. IN2010-90, pp.53-58, 2010.10.19, 広島
- [17] “少量のバッファ導入による二元受付制御のトータル呼損率改善効果”, 宮田純子, 山岡克式, 電子情報通信学会 IN 研究会, vol. 110, no. 116, pp. 1-6, 2010.7.8, 札幌
- [18] “L2 待機リンク有効活用を実現する Ethernet Bypass”, 三角真, 山岡克式, 電子情報通信学会技術報告 IN2009-87, vol. 109, no. 327, pp. 1-6, 2009.12.10, 神戸
- [19] “フロー集中抑制経路設定法の特性解析”, 横井俊宏, 宮田高道, 山岡克式, 電子情報通信学会技術報告, IN2009, vol. 109, no. 276, pp. 89-94, 2009.11.13, 福岡
- [20] “リンク評価値を用いた経路構成法による高機能ノードマルチキャスト木構成効率の検討”, 赤野間貴之, 宮田高道, 山岡克式, 酒井善則, 電子情報通信学会 IN 研究会, IN2009-25, pp. 1-6, 2009.7.9, 札幌

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 善則 (SAKAI YOSHINORI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：70196054

(2) 研究分担者

山岡 克式 (YAMAOKA KATSUNORI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：90262279

宮田 高道 (MIYATA TAKAMICHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：90431999